

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①② Offenlegungsschrift
①① DE 3421701 A1

⑤① Int. Cl. 3:
A61B 3/16

②① Aktenzeichen: P 34 21 701.0
②② Anmeldetag: 12. 6. 84
②③ Offenlegungstag: 13. 12. 84

DE 3421701 A1

③③ Unionspriorität: ③② ③③ ③①

10.08.83 DD WPA61B/251914
30.06.83 DD WPA61B/252535
20.08.83 DD WPA61B/254966
22.02.84 DD WPA61B/260251

⑦① Anmelder:

Jenoptik Jena GmbH, DDR 6900 Jena, DD

⑦② Erfinder:

Rasch, Volker, Dr.med., DDR 1071 Berlin, DD;
Waldmann, Jürgen, Dr.sc.techn.; Grund, Walter,
Dipl.-Ing., DDR 1017 Berlin, DD

⑤④ Applanationstonometer

Es wird ein einfach zu handhabendes Applanationstonometer vorgestellt, das subjektive Meßfehler ausschließt und den Einfluß der Tränenflüssigkeit weitestgehend eliminiert. Als Meßsensoren können mit Lichtleitern zusammenwirkende optoelektrische Elemente, akustische Oberflächenwellenwandler und Halbleiter Drucksensoren Verwendung finden, deren elektrische Signale in bekannten elektronischen Schaltungen zu einer digitalen Direktanzeige des Augen-drucks verarbeitet werden. Es sind sowohl die Ermittlung der Applanationsfläche bei kontantem Druck als auch die Ermittlung des Drucks bei einer vorgegebenen Applanationsfläche möglich. Das Tonometer kann je nach Ausführung sowohl am liegenden als auch am sitzenden Patienten Verwendung finden, wobei ersteres ein unabhängig von äußerer Energiezuführung arbeitendes kleines Handgerät ist.

DE 3421701 A1

Erfindungsansprüche

1. Applanationstonometer zur Messung des Augen-Innendruckes nach dem Applanationsprinzip, das ein axial bewegbares Meßelement besitzt, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird, um einen Teil der Augenoberfläche abzuflachen und das damit zusammenwirkende Mittel zum Feststellen der Größe der abgeflachten Oberfläche bei einem vorgegebenen Druck, oder zum Feststellen des ausgeübten Druckes bei einer vorgegebenen Größe der abgeflachten Oberfläche enthält, gekennzeichnet dadurch, daß das axial bewegbare Meßelement (1) im wesentlichen aus Lichtleitern (2) besteht und die damit zusammenwirkenden Mittel eine oder mehrere Lichtquellen (6) und optische Sensoren (7) enthalten, wobei die Lichtleiter (2) auf der einen, zum Abflachen des Auges (3) dienenden Seite eben geschliffen und poliert und auf der anderen, entgegengesetzten Seite so angeordnet sind, daß sie Licht (L) von der oder den Lichtquellen (6) aufnehmen und, wenn die dem Abflachen des Auges (3) dienende Seite auf dem Auge (3) aufliegt, vom Auge (3) reflektiertes Licht (R) zu den optischen Sensoren (7) leiten.
2. Applanationstonometer nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß das axial bewegbare Meßelement (1) trommelförmig ausgeführt ist und die Lichtleiter (2) in dem trommelförmigen Körper so angeordnet sind, daß ihre ersten Enden an der unteren Fläche des trommelförmigen Körpers parallel enden und eben geschliffen und poliert sind, um eine Applanationsfläche (F) zu bilden, während ihre zweiten Enden im rechten Winkel dazu auf der äußeren Umfangsfläche des trommelförmigen Körpers enden.
3. Applanationstonometer nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) so angeordnet sind, daß die zweiten Enden der Licht aufnehmenden Lichtleiter (2.1) auf der einen halben Seite des Umfanges des trommelförmigen Körpers angeordnet sind und die zweiten Enden der Reflexlicht (R) führenden Lichtleiter (2.2) auf der anderen halben Seite.
4. Applanationstonometer nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) so angeordnet sind, daß die zweiten Enden der Lichtleiter auf dem trommelförmigen Körper in waagerechten Reihen derart geordnet sind, daß die Reihen der

oberen Hälfte Licht aufnehmende Lichtleiter (2.1) sind und die Reihen der unteren Hälfte Reflexlicht führende Lichtleiter (2.2) oder umgekehrt.

5. Applanationstonometer nach Anspruch 4, gekennzeichnet dadurch, daß die waagerechten Reihen Licht aufnehmender Lichtleiter (2.1) und Reflexlicht führender Lichtleiter (2.2) abwechselnd aufeinanderfolgen.
6. Applanationstonometer nach Anspruch 4, gekennzeichnet dadurch, daß die waagerechten Reihen Licht aufnehmender Lichtleiter (2.1) und Reflexlicht führender Lichtleiter (2.2) gruppenweise aufeinanderfolgen.
7. Applanationstonometer nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) so geordnet sind, daß die zweiten Enden der Licht aufnehmenden Lichtleiter (2.1) und die zweiten Enden der Reflexlicht führenden Lichtleiter (2.2) jeweils in senkrechten Reihen auf dem trommelförmigen Körper angeordnet sind.
8. Applanationstonometer nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, daß die senkrechten Reihen Licht aufnehmender Lichtleiter (2.1) und Reflexlicht führender Lichtleiter (2.2) abwechselnd aufeinanderfolgen.
9. Applanationstonometer nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, daß die senkrechten Reihen Licht aufnehmender Lichtleiter (2.1) und Reflexlicht führender Lichtleiter (2.2) gruppenweise aufeinanderfolgen.
10. Applanationstonometer nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, daß der trommelförmige Körper so ausgeführt ist, daß der Umfang der Applanationsfläche (F) kleiner ist als der Umfang des Körpers im Bereich der Austrittsflächen der Lichtleiter (2).
11. Applanationstonometer nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß das axial bewegbare Meßelement (1) prismenförmig ausgeführt ist und die Enden der Lichtleiter (2) an beiden Enden plangeschliffen sind.
12. Applanationstonometer nach Anspruch 11, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) in dem prismenförmigen Element parallel geordnet verlaufen.

13. Applanationstonometer nach Anspruch 11, gekennzeichnet dadurch, daß auf der der Applanationsfläche (F) gegenüberliegenden Seite auf die Lichtleiter (2) ein halbverspiegeltes Prisma (13) zum Einblenden des Lichtes (L) unter einem Winkel aufgesetzt ist.
14. Applanationstonometer nach Anspruch 9, gekennzeichnet dadurch, daß das axial bewegbare Meßelement (1) oberhalb der Applanationsfläche (F) eine langgestreckte Form aufweist und daß die Lichtleiter (2) von der Applanationsfläche (F) ausgehend so geführt sind, daß ihre entgegengesetzten zweiten Enden übereinander in einer oder mehreren senkrechten Reihen enden.
15. Applanationstonometer nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) so angeordnet sind, daß die Enden der Licht aufnehmenden Lichtleiter (2.1) übereinander auf einer Seite des langgestreckten Elementes in einer oder mehreren Reihen enden und die Enden der Reflexlicht führenden Lichtleiter (2.2) in gleicher Weise auf der anderen Seite des langgestreckten Elementes.
16. Applanationstonometer nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) so angeordnet sind, daß auf jeder Seite des langgestreckten Elementes sowohl Licht aufnehmende Lichtleiter (2.1) als auch Reflexlicht führende Lichtleiter (2.2) jeweils übereinander in senkrechten Reihen enden, wobei die Reihen für die Enden der Licht aufnehmenden Lichtleiter (2.1) und die Reihen der Reflexlicht führenden Lichtleiter (2.2) nebeneinander angeordnet sind.
17. Applanationstonometer nach Anspruch 16, gekennzeichnet dadurch, daß die Reihen für die Enden der Licht aufnehmenden Lichtleiter (2.1) und die Reihen der Enden der Reflexlicht führenden Lichtleiter (2.2) übereinander angeordnet sind.
18. Applanationstonometer nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, daß in den senkrechten Reihen der zweiten Enden der Lichtleiter (2) jeweils im Wechsel ein Licht aufnehmender Lichtleiter (2.1) und ein Reflexlicht führender Lichtleiter (2.2) angeordnet sind.

19. Applanationstonometer nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, daß in den senkrechten Reihen der zweiten Enden der Lichtleiter (2) im Wechsel Gruppen Licht aufnehmender Lichtleiter (2.1) und Gruppen Reflexlicht führender Lichtleiter (2.2) angeordnet sind.
20. Applanationstonometer nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtquellen (6) Licht emittierende Dioden sind.
21. Applanationstonometer nach Anspruch 1 und 13, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtquelle (6) eine Glühlampe mit einem Kondensor (9) ist.
22. Applanationstonometer nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtquelle (6) eine Glühlampe mit einem Diffusor (10) ist.
23. Applanationstonometer nach Anspruch 1 bis 20, gekennzeichnet dadurch, daß für jeden im axial bewegbaren Meßelement (1) vorgesehenen Licht aufnehmenden Lichtleiter (2.1) eine Licht emittierende Diode im Gehäuse derart angeordnet ist, daß sie Licht in den Lichtleiter (2) strahlt.
24. Applanationstonometer nach Anspruch 1 bis 20, gekennzeichnet dadurch, daß für jeden im axial bewegbaren Meßelement (1) vorgesehenen Reflexlicht führenden Lichtleiter (2.2) ein optischer Sensor (7) im Gehäuse derart angeordnet ist, daß er Reflexlicht (R) vom Lichtleiter empfängt.
25. Applanationstonometer zur Messung des Augeninnendruckes nach dem Applanationsprinzip, das ein axial bewegbares Meßelement besitzt, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird, um einen Teil der Augenoberfläche abzuflachen und das damit zusammenwirkende Mittel zum Feststellen der Größe der abgeflachten Oberfläche bei einem vorgegebenen Druck oder zum Feststellen ausgeübten Druckes bei einer vorgegebenen Größe der abgeflachten Oberfläche enthält, wobei das axial bewegbare Meßelement im wesentlichen aus Lichtleitern besteht und die damit zusammenwirkenden Mittel eine oder mehrere Lichtquellen und optische Sensoren enthalten, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) auf der einen zum Abflachen des Auges (3) dienenden Seite eben geschliffen und poliert sind und auf der der Applanationsfläche (F) ge-

gegenüberliegenden Seite des beweglichen Elementes (1) auf den Enden der einzelnen Fasern (2') der Lichtleiter (2) wechselweise als Lichtquelle (6) photoelektronische Sender (6') und photoelektronische Empfänger (7') angeordnet sind, derart, daß das von jeweils einem photoelektrischen Sender (6') in eine Lichtleiterfaser (2') hineingeschickte Licht nach der Reflexion an der Applanationsfläche (F) durch die benachbarte Lichtleiterfaser (2') zu dem auf ihr angeordneten photoelektrischen Empfänger (7') gelangt.

26. Applanationsstomometer zur Messung des Augeninnendruckes nach dem Applanationsprinzip, das ein axial bewegbares Meßelement besitzt, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird, um einen Teil der Augenoberfläche abzuflachen und das damit zusammenwirkende Mittel zum Feststellen der Größe der abgeflachten Fläche bei einem vorgegebenen Druck oder zum Feststellen des ausgeübten Druckes bei einer vorgegebenen Größe der abgeflachten Oberfläche enthält, wobei das axial bewegbare Meßelement im wesentlichen aus Lichtleitern besteht und die damit zusammenwirkenden Mittel eine oder mehrere Lichtquellen und optische Sensoren enthalten, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtleiter (2) auf der zum Abflachen des Auges dienenden Seite des beweglichen Elementes (1) eben geschliffen und poliert sind, und daß auf der der Applanationsfläche (F) gegenüberliegenden Seite des beweglichen Elementes (1) auf den Enden der einzelnen Fasern (2') der Lichtleiter auf jeder Faser (2') jeweils über einen Teil des Querschnitts der Oberfläche ein optoelektronischer Empfänger (7') angeordnet ist, derart, daß das von einer äußeren Lichtquelle (6) durch den freigebliebenen Teil des Querschnitts in die Lichtleiterfaser (2') eingestrahlte und von der Applanationsfläche (F) reflektierte Licht von diesem Empfänger (7') aufnehmbar und in elektrische Signale umwandelbar ist.
27. Applanationsstomometer nach Anspruch 26, gekennzeichnet dadurch, daß der auf jeder Faser (2') des Lichtleiters (2) angeordnete optoelektronische Empfänger (7') den halben Querschnitt der Lichtleiterfaser (2') bedeckt.

28. Applanationstonometer nach Anspruch 26, gekennzeichnet dadurch, daß der auf jeder Faser (2') des Lichtleiters (2) angeordnete optoelektronische Empfänger (7') als Kreissegmentfläche oder Halbkreisfläche ausgeführt ist.
29. Applanationstonometer nach Anspruch 26, gekennzeichnet dadurch, daß der auf jeder Faser (2') des Lichtleiters (2) angeordnete optoelektronische Empfänger (7') als Kreisring ausgeführt ist.
30. Applanationstonometer nach Anspruch 26, gekennzeichnet dadurch, daß der auf jeder Faser (2') des Lichtleiters (2) angeordnete optoelektronische Empfänger (7') als zentrische Kreisfläche angeordnet ist, die kleiner ist als die Querschnittsfläche der Lichtleiterfaser.
31. Applanationstonometer nach Anspruch 26, gekennzeichnet dadurch, daß die Lichtquelle (6) im feststehenden Teil des Gehäuses durch eine oder mehrere gegenüber dem beweglichen Element angeordnete Licht emittierende Dioden gebildet wird und hinter einer Streufolie angeordnet ist.
32. Applanationstonometer nach Anspruch 1; 25 und 26, gekennzeichnet dadurch, daß als Licht jede elektromagnetische Wellenlänge von Ultraviolett bis Infrarot, sowohl im sichtbaren als auch im unsichtbaren Bereich verwendet wird.
33. Applanationstonometer nach Anspruch 1; 25 und 26, gekennzeichnet dadurch, daß die Wellenlänge des Lichtes im Infrarotbereich von 0,85 bis 25 μm liegt.
34. Applanationstonometer nach Anspruch 1; 25 und 26, gekennzeichnet dadurch, daß die Wellenlänge in der Größenordnung von 1,3 μm liegt.
35. Applanationstonometer nach Anspruch 1; 25 und 26, gekennzeichnet dadurch, daß das Licht getaktet ist.
36. Applanationstonometer nach Anspruch 1; 25 und 26, gekennzeichnet dadurch, daß ein Schwellenwertgeber zum Eliminieren der elektrischen Signale vorgesehen ist, die durch Licht unterhalb einer vorgegebenen Lichtintensität von den optischen Sensoren (7; 7') erzeugt werden.

37. Applanationstonometer zur Messung des Augeninnendrucks nach dem Applanationsprinzip, das ein axial bewegbares Meßelement besitzt, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird, um einen Teil der Augenoberfläche abzuflachen und das damit zusammenwirkende Mittel zum Feststellen der Größe der abgeflachten Oberfläche enthält, gekennzeichnet dadurch, daß das axial bewegbare Meßelement (1) auf der zum Abflachen des Auges (3) dienende Applanationsfläche (F) einen oder mehrere akustische Oberflächenwellenwandler (30) aufweist, deren Eingangs- oder Senderinterdigitalwandler (30.1) mit einer bestimmten Eingangsfrequenz gespeist werden und deren Ausgangs- oder Empfänger-Interdigitalwandler (30.2) mit bekannten elektronischen Mitteln verbunden sind, in denen eine durch das Anlegen der Applanationsfläche an das Auge (3) auftretende Dämpfung oder Veränderung der Laufzeitstrecke in eine Frequenzänderung umgewandelt werden, und die resultierende Frequenz in eine Analog- oder Digitalanzeige weiterverarbeitbar ist, die in Einheiten des Augeninnendrucks geeicht ist.
38. Applanationstonometer nach Anspruch 37, gekennzeichnet dadurch, daß die akustischen Oberflächenwellenwandler (30) auf der zum Abflachen des Auges (3) dienenden Fläche (F) des axial bewegbaren Meßelementes (1) so angeordnet sind, daß sie sich außerhalb der abgeflachten Augenoberfläche im Randbereich der Applanationsfläche (F) befinden.
39. Applanationstonometer nach Anspruch 37, gekennzeichnet dadurch, daß die akustischen Oberflächenwellenwandler (30) auf der Applanationsfläche (F) des axial bewegbaren Meßelementes (1) so angeordnet sind, daß sie ganz oder teilweise von der abgeflachten Augenoberfläche bedeckt werden.
40. Applanationstonometer zur Messung des Augeninnendrucks nach dem Applanationsprinzip, das ein axial bewegbares Meßelement besitzt, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird, um einen Teil der Augenoberfläche abzuflachen und das damit zusammenwirkende Mittel zum Feststellen der Größe der abgeflachten Oberfläche bei einem vorgegebenen Druck, oder zum Feststellen des ausgeübten Druckes bei einer vorgegebenen Größe der abgeflachten Oberfläche enthält, gekennzeichnet

net dadurch, daß auf der zum Abflachen des Auges (3) dienenden Applanationsfläche (F) des bewebaren Meßelementes (1) eine Vielzahl von Drucksensoren (40) auf der Basis von Halbleiterkristallen angeordnet ist, die durch neutronendotierte unterschiedliche Widerstandsmaterialien gebildet werden, wobei mehrere Widerstände in Brückenschaltung eindotiert sind, daß eine Versorgungsspannung zu den Brückenschaltungen zugeführt wird und Ausgangsleitungen vorhanden sind, die zu einer elektronischen Auswertungsschaltung geführt sind.

41. Applanationstonometer nach Anspruch 40, gekennzeichnet dadurch, daß die Drucksensoren (40) auf der Applanationsfläche (F) in Form einer Matrix angeordnet sind.
42. Applanationstonometer nach Anspruch 40, gekennzeichnet dadurch, daß die Drucksensoren (40) auf der Applanationsfläche (F) in Form eines Sterns angeordnet sind.
43. Applanationstonometer nach Anspruch 40, gekennzeichnet dadurch, daß die Drucksensoren (40) auf der Applanationsfläche (F) in Form einer Spirale angeordnet sind.
44. Applanationstonometer nach Anspruch 40, gekennzeichnet dadurch, daß die Drucksensoren (40) auf der Applanationsfläche (F) in Form eines Kreuzes angeordnet sind.
45. Applanationstonometer nach Anspruch 40, gekennzeichnet dadurch, daß das Rastermaß der Drucksensoren (40) unter $300\text{ }\mu\text{m}$ liegt.
46. Applanationstonometer nach Anspruch 40, gekennzeichnet dadurch, daß das Rastermaß der Drucksensoren (40) in einem Bereich von 50 bis $100\text{ }\mu\text{m}$ oder darunter liegt.
47. Applanationstonometer nach Anspruch 40, gekennzeichnet dadurch, daß die in Form eines elektrischen Signals im Drucksensor (40) vorliegende Information impulsweise herausgeschoben und zeilenweise abgenommen wird.
48. Applanationstonometer nach den Ansprüchen 1, 25, 26, 37 und 40, gekennzeichnet dadurch, daß das axial bewegbare Meßelement (1) in einem Gehäuse (5) angeordnet ist, gegen das es eine Relativbewegung ausführt, daß es ein vorgegebenes Eigengewicht aufweist und daß die an seiner Applanationsfläche (F) angeordneten Meßsensoren reibungslos mit dem Gehäuse (5) in Wirkbeziehung stehen.

49. Applanationstonometer nach Anspruch 48, gekennzeichnet dadurch, daß das zur Handhabung dienende Gehäuse (5), die zur Stromversorgung dienenden Batterien (25), die Koppelmittel für reibungslose Energieübertragung zum und vom axial beweglichen Meßelement (1) die gesamte elektronische Auswertungsschaltung (26) und die Anzeige (27) enthält.
50. Applanationstonometer nach Anspruch 48, gekennzeichnet dadurch, daß die reibungslose Kopplung des axial bewegbaren Meßelementes (1) mit dem Gehäuse (5) über Optokoppler (22.1 und 22.2) erfolgt.
51. Applanationstonometer nach Anspruch 50, gekennzeichnet dadurch, daß die Optokoppler (22.1 und 22.2) aus Licht emittierenden Dioden und Photodioden oder Phototransistoren bestehen.
52. Applanationstonometer nach den Ansprüchen 1, 25, 37, 40 und 48, gekennzeichnet dadurch, daß das axial bewegbare Meßelement (1) prismenförmig ausgeführt ist und daß die mit den Meßsensoren verbundenen Optokoppler-Elemente (22.1 und 22.2) auf der der Applanationsfläche (F) gegenüberliegenden Oberfläche des prismenförmigen, axial beweglichen Meßelementes (1) angeordnet sind.
53. Applanationstonometer nach Anspruch 50, gekennzeichnet dadurch, daß die im Gehäuse vorgesehenen Optokoppler-Elemente (22.1 und 22.2) gegenüber der oberen Oberfläche des prismenförmigen, axial bewegbaren Meßelementes (1) im Gehäuse (5) angeordnet sind.
54. Applanationstonometer nach Anspruch 48, gekennzeichnet dadurch, daß die reibungslose Kopplung des axial bewegbaren Meßelementes (1) mit dem Gehäuse (5) induktiv erfolgt.
55. Applanationstonometer nach Anspruch 54, gekennzeichnet dadurch, daß zur Energieübertragung vom Gehäuse (5) zu den Meßsensoren auf dem axial bewegbaren Meßelement (1) im Gehäuse (5) ein induktiver Geber (28) angeordnet ist und auf dem axial bewegbaren Meßelement (1) je ein induktiver Empfänger (29), der mit den Eingängen der Meßsensoren verbunden ist, und daß die Ausgänge der Meßsensoren zur Energieübertragung auf das Gehäuse (5) mit je einem auf dem axial bewegbaren Meßelement (1) angeordneten induktiven Geber (28)

verbunden sind, der mit je einem induktiven Empfänger (29) im Gehäuse (5) in Wirkbeziehung steht.

56. Applanationstonometer nach Anspruch 55, gekennzeichnet dadurch, daß die induktiven Elemente als Spulen angeführt sind.
57. Applanationstonometer nach Anspruch 55, gekennzeichnet dadurch, daß die induktiven Elemente als aufgedampfte oder nach anderen bekannten Verfahren aufgebrachten Strukturen ausgeführt sind.
58. Applanationstonometer nach Anspruch 48, gekennzeichnet dadurch, daß an der Stelle des Gehäuses (5), an der das axial bewegbare Meßelement (1) heraustritt, an der Innenwandung des Gehäuses (5) mindestens drei Optokoppler (22) über den Umfang verteilt angeordnet sind und daß an der Stelle des axial bewegbaren Meßelementes (1) die bei auf das Auge aufgesetztem Gerät den Optokopplern (22) gegenüberliegt, ein reflektierender Belag (23) ringförmig aufgebracht ist.
59. Applanationstonometer nach Punkt 58, gekennzeichnet dadurch, daß die Optokoppler (22) Reflexkoppler sind.
60. Applanationstonometer nach Punkt 58 und 59, gekennzeichnet dadurch, daß die Empfänger der Optokoppler (22) an eine Überwachungsschaltung angeschlossen sind.
61. Applanationstonometer nach Anspruch 1, 25, 26, 37, 40 und 48, gekennzeichnet dadurch, daß die Applanationsfläche (F) einen glatten Überzug aufweist.
62. Applanationstonometer nach Anspruch 1, 25 und 26, gekennzeichnet dadurch, daß photoelektronische Sender und photoelektronische Empfänger in Verbindung mit Lichtleiterelementen als Meßsensoren Verwendung finden.
63. Applanationstonometer nach Anspruch 37, gekennzeichnet dadurch, daß akustische Oberflächenwellenwandler als Meßsensoren Verwendung finden.
64. Applanationstonometer nach Anspruch 41, gekennzeichnet dadurch, daß Halbleiter-Drucksensoren als direkt beaufschlagte Meßsensoren Verwendung finden.

Hierzu 9 Blatt Zeichnungen

Titel der Erfindung

Applanationstonometer

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Gerät zur Messung des Augeninnendrucks nach dem Prinzip der Applanationstonometrie.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind drei Grundprinzipien zur Messung des Augeninnendrucks allgemein bekannt, die Impressionstonometrie, die Applanations-tonometrie und die Non-Contact-Tonometrie.

Ein Impressionstonometer mißt die Tiefe der Eindellbarkeit der Hornhaut, hervorgerufen durch einen mit einem bekannten Gewicht belasteten Metallstempel. Bei demselben Gewicht verhält sich die Eindellbarkeit umgekehrt wie der Augeninnendruck; sie ist größer, wenn der Augeninnendruck niedriger liegt und umgekehrt. Der Widerstand, den die Hornhaut der Deformierung entgegensetzt, wird dabei vernachlässigt. Der Hauptmangel der Impressionstonometrie beruht auf der Tatsache, daß das Aufsetzen des Tonometers und das Eindringen des Metallstempels den Augeninnendruck erhöhen. Der Druck, der im Augenblick des Ablesens festgestellt wird, entspricht dem tonometrischen Druck und nicht derjenigen Tension, die im Augeninnern vor dem Aufsetzen des Tonometers herrscht. Dafür ist aber die Handhabung des Impressionstonometers recht einfach. Da aber nicht der tonometrische Druck, sondern vielmehr der Augeninnendruck gemessen werden soll, muß entweder eine Ungenauigkeit der Messung in Kauf genommen werden, oder es sind zusätzlich Berechnungen erforderlich.

Ein weiterer Nachteil dieser Geräte besteht darin, daß bei der Messung des Augendrucks die Übertragung des Meßergebnisses mittels beweglicher Teile, Stempel, Achse, Hebel und Zeiger, erfolgt, so daß Veränderungen der Reibungswerte dieser bewegten mechanischen Teile das Meßergebnis verfälschen können.

Ein Impressionstonometer, das ohne mechanische bewegliche Übertragungselemente für die Anzeige auskommt, ist in der DE-OS 31 12 910 A 1 beschrieben. Dieses Gerät ist zur Langzeitmessung ausgelegt und weist einen Sensor in Form einer auf das Auge aufsetzbaren elastischen Kontaktlinse auf, die auf ihrer Unterseite eine kleine abgerundete zentrische Erhebung trägt. Auf die Unterseite des Sensors ist über die gesamte Fläche verteilt eine elektrische Leiterbahn in Form einer Spirale aufgebracht. Die Oberseite der Kontaktlinse ist mit einer gegebenenfalls durchbrochenen oder spiralenförmig verlaufenden elektrischen Leiterbahn versehen. Die elektrischen Leiter auf der Ober- und Unterfläche sind miteinander verbunden und bilden einen passiven Sensorschwingkreis. Ferner ist ein aktiver Schwingkreis mit einem Hochfrequenzgenerator vorgesehen. Dieser Schwingkreis ist vorzugsweise in ein Brillengestell eingebaut, ebenso wie ein Dip-Meter und ein Telemetriesender. Der Sensor wird entsprechend dem Augeninnendruck verformt, so daß sich dadurch die Resonanzfrequenz des Sensorschwingkreises ändert. Diese Änderung kann entweder durch die sogenannte Dip-Frequenz, d. h. einem Einbruch im Schwingungsspektrum des aktiven Schwingungskreises oder als Änderung der Schwingungsamplitude des aktiven, mit einer einzigen Frequenz betriebenen aktiven Schwingungskreises festgestellt werden und entsprechenden Augeninnendrüken zugeordnet werden.

Doch auch dieses Gerät weist die generellen, oben dargelegten Nachteile der Impressionstonometer auf. Sie werden bei Anwendung des Applanationsprinzips überwunden. Dieses geht von dem Gesetz von Imbert aus, das besagt, daß der Druck in einem mit Flüssigkeit angefüllten kugelförmigen Behälter dem Gegendruck entspricht, der eine bestimmte Oberfläche dieser Kugel abplattet. Dieses Gesetz stimmt jedoch nur dann genau, wenn die Kugelwand sehr dünn ist und der Verformung keinerlei Widerstand entgegensetzt. Dieses ist beim Augapfel der Fall, weshalb eine Augen-

innendruckmessung auf der Grundlage dieses Gesetzes auf zwei verschiedene Arten möglich ist.

1. Es kann ein Tonometer mit konstantem Gewicht verwendet und die abgeplattete Oberfläche gemessen werden.
2. Es kann die Kraft festgestellt werden, die erforderlich ist, um eine bekannte Oberfläche konstanter Größe zu applanieren.

Bekannt ist ein Tonometer von Perkins, das aus einem Kunststoffzylinder besteht, dessen unteres, planares Ende mit einer Gradeinteilung versehen ist. Am oberen Ende befindet sich eine Lupe. Nach Einträufeln von Fluorescezin in den Bindehautsack läßt sich der Durchmesser der applanierten Hornhautfläche durch optisches Ablesen an der Grandskala bestimmen. Die Bestimmung des Augeninnendrucks erfolgt hier mittels einer konstanten Kraft.

Weiterhin bekannt ist ein Tonometer, das auf der Grundlage einer applanierten Oberfläche konstanter Größe arbeitet. Die Kornea wird hierbei mit Hilfe der viereckigen Basis eines Glasprismas abgeplattet. Der Augeninnendruck wird gemessen, indem der Druck des Prismas auf das Auge so lange verstärkt wird, bis der abgeplattete kreisförmige Hornhautbezirk mit den vier Seiten der Prismabasis niveaugleich ist.

Diese Tonometer haben neben anderen Nachteilen vor allem den, daß sie eine zu große Hornhautoberfläche abplatteten und so künstlich den Augeninnendruck im Augenblick des Meßvorganges erhöhen.

Diesen Fehler vermeidet ein Gerät, das eine mit einem Manometer versehene Kammer besitzt, deren eine Seite aus einer dünnen elastischen Membran besteht. Diese wird an die Hornhaut gebracht und der Druck in der Kammer so lange erhöht, bis die Membran eben wird. In diesem Augenblick entspricht der Druck im Innern der Kammer dem Augeninnendruck.

Ein weiteres bekanntes Tonometer von Goldmann ist auf einer Spaltlampe montiert. Es besteht aus einer mit einem Kunststoffzylinder versehenen Torsionswaage. Die Vorderfläche des Zylinders ist eben. Sie wird an die Hornhaut gebracht und übt hier

einen ansteigenden Druck aus, der mit Hilfe der Torsionswaage gemessen wird. Das Tonometer ist auf ein Biomikroskop mit maximal weitgestelltem Spalt montiert. Durch den transparenten Zylinder läßt sich die Kontaktzone der Hornhaut beobachten. Die Untersuchung erfolgt bei violettem Licht, nachdem die Tränenflüssigkeit mit Hilfe von Fluorescein gefärbt wurde, wobei die Peripherie der Kontaktzone als feiner, intensiv grün gefärbter Kreis erscheint.

Diese beiden Geräte erfordern einen hohen technischen Aufwand, sind teuer und können nur von Spezialisten, also Augenärzten, bedient werden.

Darüber hinaus erfüllt das Tonometer von Goldmann zwar die Bedingung, daß die applanierte Oberfläche sehr klein sein muß (sie beträgt $7,35 \text{ mm}^2$), aber es ist extrem empfindlich gegen den, wenn auch geringen Widerstand, den die Hornhaut der Verformung entgegensetzt. Auch verfälscht die Oberflächenspannung der nach der Peripherie verdrängten Tränenflüssigkeit durch einen Druck auf den Zylinder das Meßergebnis, da es nicht möglich ist, die Kontaktzone zwischen dem Auge und dem Tonometer trocken zu halten.

Das Tonometer von Goldmann kann nur bei sitzenden Patienten Verwendung finden. In bestimmten Fällen, zum Beispiel bei angeborenem Glaukom, also bei erhöhtem intraokularen Druck, ist es oft erforderlich, eine Narkoseuntersuchung durchzuführen und die Tonometrie im Liegen vorzunehmen. Das für diese Zwecke an sich gut geeignete Tonometer von Draeger ist aber so aufgebaut, daß der vom Prisma ausgeübte Druck mit Hilfe eines Motors erfolgt. Das bedeutet, daß keine feuergefährlichen Präparate für die Narkose verwendet werden können, da am Motor des Tonometers Funken entstehen können. Außerdem kann durch Anästhetika der allgemeine Arteriendruck und damit auch der Augendruck herabgesetzt werden. Darüber hinaus muß die Messung in einem Augenblick stattfinden, in dem das Auge geradeaus blickt. Die Benutzung einer Pinzette zur Korrektur der Blickrichtung würde aber einen Meßfehler mit sich bringen, da der Augendruck erhöht wird. Das ist bei allen Geräten mit einer längeren Dauer des Meßvorganges von Bedeutung.

Ein weiteres bekanntes Tonometer von Mac Kay-Marg enthält an der Spitze des Meßkopfes einen kleinen, in eine elastische Manschette fixierten Quarzzylinder, dessen Lageverschiebung um nur wenige Mikron einen elektrischen Impuls verursacht, der aufgezeichnet wird. Der Meßkopf wird mit einem niederfrequenten, niedergespannten Strom gespeist, und die durch den auf das Quarzkristall ausgeübten Druck hervorgerufenen Stromschwankungen werden verstärkt. Die Deutung der Tonogramme ist aber noch umstritten und das Problem der Eichung ungelöst.

Das Non-Contact-Tonometer (NCT) der American Optical Comp. produziert 12 ms dauernde Luftstöße, innerhalb welcher die Stromgeschwindigkeit linear auf ein Maximum ansteigt. Wenn ein derartiger Luftstoß das Auge in Richtung der optischen Achse trifft, wird die Hornhaut mehr und mehr abgeflacht und schließlich eingedellt. Ein schräg einfallendes Bündel paralleler Lichtstrahlen wird als paralleles Bündel reflektiert, wenn der Luftstoß eben ein zentrales Areal von 3,6 mm Durchmesser genau applaniert. Dieses reflektierte Bündel wird von einer Selenzelle aufgefangen und markiert so die Stromgeschwindigkeit und damit die Intensität des zur Applanation erforderlichen Luftstoßes. Bei Versuchen mit diesem Gerät ergab sich jedoch eine Meßfehlerbreite, die viermal größer war als die des Applanationstonometers von Goldmann.

Die US-PS 39 13 390 beschreibt ein optisches Applanationstonometer, in dem ein beweglicher Kolben aus Glasfasern Verwendung findet, der durch metallene Gewichtsringe in seinem Auflagedruck veränderbar ist. An der Oberseite des Glasfaserkolbens ist eine Meßskala angeordnet, die sich bei aufgesetztem Gerät im Schärfebereich einer Betrachtungsoptik befindet. Durch die Glasfasern wird das Abbild der Applanationsfläche von der unteren Auflagefläche exakt zur oberen, mit der Skala versehenen Fläche übertragen und kann dort gemessen werden. Der Nachteil dieses Gerätes besteht darin, daß es manuell optisch abgelesen werden muß, was gerade auf einer Meßskala subjektive Fehler nicht ausschließt.

3421701

Ein weiteres optisch wirkendes Applanationstonometer ist in der DE-OS 26 43 879 beschrieben. Bei diesem Gerät wird die ebene Fläche eines Prismas mit konstantem Druck gegen die Hornhautoberfläche gedrückt, und Lichtstrahlen werden unter einem Winkel α auf diese Fläche geleitet. Da die Brechungskoeffizienten von Prisma und Auge wesentlich dichter beieinander liegen als die Koeffizienten von Prisma und Luft, setzen die Lichtstrahlen, die auf die Kontaktfläche treffen, ihren Weg in das Innere des Auges fort und werden dort absorbiert, während die Lichtstrahlen außerhalb des äußeren Randes der Kontaktfläche reflektiert werden. Die Differenz zwischen hineingestrahlem und reflektiertem Licht ergibt ein Maß für die Auflagefläche. Dieses Gerät hat zwei grundlegende Nachteile. Hornhauttrübungen oder weiße Narben reflektieren das Licht ebenfalls, so daß eine Fehlmessung nicht ausgeschlossen bzw. das Gerät bei bestimmten Patienten überhaupt nicht anwendbar ist.

Darüber hinaus verfälscht Tränenflüssigkeit, die sich in wechselndem Ausmaß um die Auflagefläche sammelt und nie ganz vermeidbar ist, das Meßergebnis, da auch sie die Lichtstrahlen absorbiert und in ihrem Bereich eine Reflexion verhindert.

Die US-PS 35 64 907 (identisch mit der DS-OS 20 40 238) und 37 03 095 beschreiben Tonometer, die vollkommen elektrisch funktionieren. Dabei wird zur Erzeugung eines starken Signals mit Hilfe einer federhalterartigen Sonde, die mit der Hornhaut des Patienten in Berührung gebracht wird, eine Druckmessung ausgenutzt. Der tränennasse Bereich in der Applanationsoberfläche erzeugt ein weiteres Signal, das zur Größe dieses Bereiches proportional ist. Beide Signale werden kombiniert und als intraokularer Augendruck auf einem einfachen analogen Meßinstrument angezeigt. Bei dem Gerät der US-PS 37 03 095 ist noch eine zweite Sonde vorhanden, die der Patient in der Hand haben muß. Nachteilig an diesen Geräten ist, daß auch hier der Bereich der Tränenflüssigkeit nicht eliminiert werden kann und daß die Sonden an Kabeln befestigt sind und das Anzeigegerät getrennt, über das Kabel verbunden, aufgestellt ist. Darüber hinaus können auch hier materialbedingte Toleranzen und Alterungserscheinungen, z. B. des Halbleiterdruckmessers, zu Meß-

fehlern führen. Darüber hinaus ist vor jeder Messung eine Eichung des Gerätes nötig, was seine praktische Handhabung erschwert.

Die US-PS 43 05 399 beschreibt eine miniaturisierte Vorrichtung in Form einer Kontaktlinse. Hier wird die Position beweglich zueinander angeordneter Spulen zur Frequenzveränderung verwendet, die ein Maß für den Augeninnendruck bildet. Auch hier können Veränderungen der Reibungswiderstände und Materialtoleranzen zu falschen Meßergebnissen führen.

In der DE-OS 22 21 317 ist ein Tonometer beschrieben, das ein inneres und ein konzentrisch um dieses angeordnetes rohrförmiges äußeres druckempfindliches Meßelement enthält. Diese Elemente wirken auf Dehnungsmeßstreifen, die auf verformbaren Bügeln angeordnet sind. Das Vorhandensein von vier Meßstreifen signalisiert, wenn das Gerät richtig am Auge anliegt, jedoch werden nur grobe Schrägstellungen des Tonometers erfaßt, während geringere Neigungen gegen die Senkrechte bei Anwendung des Tonisierungsdrucks nicht mehr angezeigt werden.

Ein weiteres optisch messendes Tonometer ist in der US-PS 41 92 317 beschrieben. Das optische Meßverfahren besteht in einer Anordnung von Photodioden und Photodektoren, zwischen denen sich zwei mit Linien versehene, durchsichtige Skalen befinden, die durch den Tonisierungsstempel gegeneinander bewegt werden. Dabei werden Moiré-Streifen erzeugt, die in bekannter Weise als Maß für die Bewegung des Stempels verwendet werden. Dieses sehr handliche Gerät weist vor allem auch den Mangel auf, daß eine bewegbare Meßeinrichtung mit u. U. variabler Reibung vorhanden ist.

Die DE-AS 26 22 990 und die US-PS 37 14 819 beschreiben Luftstrahltonometer. Hier wird ein kräftiger Luftstrahl gegen das Auge gerichtet und die Verformung der Augenoberfläche gemessen. Obwohl als Vorteil betrachtet werden kann, daß diese Geräte ohne mechanische Berührung arbeiten, wird der erforderliche starke Luftstrom vom Patienten oft als noch unangenehmer empfunden. Die Meßgenauigkeit ist wesentlich geringer als bei den Applanationstonometern.

3421701

Insgesamt gesehen sind die bekannten Geräte entweder in der Meßgenauigkeit unbefriedigend oder technisch und kostenmäßig sehr aufwendig. Ein weiterer Nachteil ist der optische Einstellvorgang, der zeitaufwendig ist und nur von geübten Untersuchern in ausreichender Qualität durchführbar ist, wobei auf Grund der subjektiven Beobachtung und Messung der Größe der Applanationsfläche bei den optischen Geräten Fehler trotzdem nicht auszuschließen sind. Darüber hinaus sind die meisten Geräte auf Grund ihres Aufbaus schwierig zu reinigen und zu desinfizieren und müssen zu diesem Zweck demontiert werden.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, den hohen Aufwand an Kosten und technisch komplizierten Geräten zu vermeiden, sowie die Schwierigkeiten beim Meßvorgang und bei der Reinigung zu überwinden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Gerät zur Messung des Augeninnendrucks zu schaffen, das ohne hohen Kostenaufwand hergestellt werden kann, das leicht zu handhaben und einfach zu bedienen ist sowie subjektive Fehler bei der Messung vermeidet. Dabei soll der Meßwert auf elektronischem Wege ohne bewegliche mechanische Übertragungsglieder nach dem Aufsetzen des Gerätes auf die Hornhaut ohne zusätzliche Justierungs- oder Einstellvorgänge ermittelt werden und direkt digital ablesbar sein. Das Gerät soll den Einfluß der Tränenflüssigkeit auf das Meßergebnis weitgehend ausschalten. Es soll sowohl am sitzenden als auch am liegenden Patienten anwendbar sein, und es soll möglich sein, sowohl die Fläche bei konstantem vorgegebenen Druck als auch den Druck bei einer vorgegebenen Fläche zu ermitteln. Darüber hinaus soll das Gerät leicht zu säubern und zu desinfizieren sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Tonometer zur Messung des Augeninnendrucks nach dem Applanationsprinzip gelöst, das ein axial bewegbares Meßelement aufweist, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird und bei dem dieses Meßelement im wesentlichen aus Lichtleitern besteht, die mit einer oder mehreren Lichtquellen und optischen Sensoren in Wechselwirkungen stehen. Diese Lichtleiter sind auf der zum Abflachen des Auges die-

nenden Seite zu einer ebenen Applanationsfläche zusammengeführt. Auf der entgegengesetzten Seite sind die Lichtleiter so angeordnet, daß sie Licht von der oder den Lichtquellen aufnehmen. Dieses Licht wird zur Applanationsfläche geleitet und dort bei aufgesetztem Gerät von der Augenoberfläche reflektiert. Das reflektierte Licht wird von den Lichtleitern zu optischen Sensoren, z. B. Photodioden, geleitet und von diesen in elektrische Signale umgewandelt, die mittels bekannter elektronischer Mittel zu einer digitalen Anzeige verarbeitet werden.

Nach dem erfindungsgemäßen Prinzip kann vorteilhaft ein einfach zu bedienendes Gerät zur Verwendung am liegenden Patienten geschaffen werden.

Dabei wird das axial bewegbare Meßelement senkrecht bewegt und erhält ein konstantes Gewicht, mit dem es auf den Augapfel drückt. Das axial bewegbare Meßelement besteht im wesentlichen aus Lichtleitern, die mit einer oder mehreren Lichtquellen und optischen Sensoren in der oben geschilderten Weise zusammenwirken. Die elektrischen Signale werden in bekannter Weise zu einer digitalen Anzeige weiterverarbeitet. Bei dieser Anordnung sind die Lichtquellen, die optischen Sensoren, die elektronischen Mittel, die digitale Anzeige und die Batterien in dem zur Handhabung des Gerätes dienenden Gehäuse angeordnet. Das bewegbare Meßelement besteht im wesentlichen nur aus den Lichtleitern. Um Reibungsverluste zu vermeiden, ist die Kopplung zwischen dem Gehäuse und dem axial bewegbaren Meßelement rein optisch ausgeführt. Das axial bewegbare Meßelement kann trommelförmig ausgeführt sein. Dann sind die Lichtleiter in dem trommelförmigen Körper so angeordnet, daß ihre ersten Enden an der unteren Fläche des trommelförmigen Körpers parallel und eben geschliffen und poliert sind. Sie bilden damit eine zum Abflachen des Auges geeignete Applanationsfläche. Die zweiten, entgegengesetzten Enden der Lichtleiter enden in einem rechten Winkel zur Applanationsfläche auf der äußeren Umfangsfläche des trommelförmigen Körpers.

Bei dieser Ausführung des axial bewegbaren Meßelementes wird zweckmäßig jeweils in einen Lichtleiter Licht eingestrahlt, und das von der Augenoberfläche reflektierte Licht wird von einem benachbarten Lichtleiter zu den optischen Sensoren geleitet.

3421701

Zu diesem Zweck können die zweiten Enden der Lichtleiter, die Licht aufnehmen sollen, auf der einen halben Seite des Umfangs des trommelförmigen Körpers angeordnet sein und die zweiten Enden der Reflexlicht führenden Lichtleiter auf der anderen halben Seite des Umfangs.

Die zweiten Enden der Lichtleiter können auch in waagerechten Reihen auf dem äußeren Umfang des trommelförmigen Körpers angeordnet sein. Dann können die Reihen der Licht aufnehmenden Lichtleiter auf der oberen Hälfte angeordnet sein und die der Reflexlicht führenden auf der unteren Hälfte oder umgekehrt. Die Reihen der Licht aufnehmenden Lichtleiter und der Reflexlicht führenden Lichtleiter können auch abwechselnd aufeinander oder gruppenweise aufeinander folgen.

Es ist auch möglich, die zweiten Enden der Lichtleiter zu senkrechten Reihen auf dem äußeren Umfang des trommelförmigen Körpers zu ordnen. Dann können die Reihen der Licht aufnehmenden Lichtleiter und die Reihen der Reflexlicht führenden Lichtleiter abwechselnd oder gruppenweise aufeinander folgen. Die Lichtquelle oder die Lichtquellen und die optischen Sensoren sind dann, analog der Ordnung der zweiten Lichtleiterenden, entsprechend auf dem dem trommelförmigen Körper gegenüberliegenden Teil der inneren Oberfläche des Gehäuses angeordnet.

Da es zweckmäßig ist, die Applanationsfläche möglichst klein zu halten, die entgegengesetzten zweiten Enden der Lichtleiter aber im rechten Winkel zum äußeren Trommelumfang geführt sind, ist der Umfang der Applanationsfläche kleiner als der äußere Trommelumfang.

Das axial bewegbare Meßelement kann aber auch durchgängig prismenförmig ausgeführt sein, wobei dann beide Enden plangeschliffen sind. Dann dient die untere plangeschliffene Seite als Applanationsfläche und die obere zum Eintritt des Lichtes und zum Austritt des Reflexlichtes. Die Lichtquelle oder die Lichtquellen sind dann gemeinsam mit den optischen Sensoren über dem beweglichen Element angeordnet. Das Licht kann auch seitlich unter einem Winkel in die Lichtleiter eingestrahlt werden, wenn

auf der oberen plangeschliffenen Fläche ein entsprechendes halbverspiegeltes Prisma aufgesetzt ist. Die optischen Sensoren sind in diesem Fall auch oberhalb des beweglichen Elementes angeordnet. Das vom Prisma in die Lichtleiter gelenkte Licht wird von der Augenoberfläche reflektiert und tritt nach oben durch das Prisma aus den Lichtleitern aus und trifft auf die optischen Sensoren.

Bei der Ausführung des axial bewegbaren Meßelementes als Prisma kann es von Vorteil sein, wenn die Lichtleiter parallel geordnet sind. Das ist in dem Fall zweckmäßig, wenn auch hier ein Teil der Lichtleiter das Licht zur Applanationsfläche führt und ein anderer Teil das Reflexlicht zu den optischen Sensoren leitet. Wenn mit dem integralen Mittelwert der Lichtstärke gearbeitet wird, z. B. bei der Ausführung mit aufgesetztem Prisma, können die Lichtleiter auch ungeordnet im beweglichen Element geführt sein. Das axial bewegbare Meßelement kann auch oberhalb der Applanationsfläche eine langgestreckte Form aufweisen, wobei die entgegengesetzten zweiten Enden der Lichtleiter in einer oder mehreren senkrechten Reihen auf dem langgestreckten Element angeordnet sind. Dann können die zweiten Enden der Lichtaufnehmenden Lichtleiter übereinander auf einer Seite des Elementes in einer oder mehreren Reihen angeordnet sein und die Enden der Reflexlicht führenden Lichtleiter in gleicher Weise auf der anderen Seite. Es können auch auf jeder Seite des Elements sowohl Licht aufnehmende Lichtleiter als auch Reflexlicht führende Lichtleiter jeweils übereinander in senkrechten Reihen angeordnet sein, wobei die entsprechenden Reihen nebeneinander oder übereinander angeordnet sein können. Es ist auch möglich, in den Reihen Licht aufnehmende und Reflexlicht führende Lichtleiter im Wechsel oder gruppenweise anzuordnen.

Bei einer zweiten Variante des Applanationsstemonometers mit optoelektronischer Meßwerterfassung ist das Meßglied auf der zum Abflachen des Auges dienenden Seite ebenfalls eben geschliffen und poliert. Auf der der Applanationsfläche gegenüberliegenden Seite des beweglichen Elementes sind auf den Enden der einzelnen Fasern der Lichtleiter wechselweise als Lichtquelle photoelektronische Sender und photoelektronische Empfänger angeordnet.

3421701

net. Das von jeweils einem photoelektronischen Sender in eine Licht aufnehmende Lichtleiterfaser hineingestrahlte Licht wird an der Applanationsfläche reflektiert und durch eine benachbarte Reflexlicht führende Lichtleiterfaser zu dem auf dieser angeordneten photoelektronischen Empfänger geführt.

Bei einer dritten Variante mit dem gleichen Meßprinzip können auf der der Applanationsfläche gegenüberliegenden Seite des beweglichen Elements auf den Enden der einzelnen Fasern der Lichtleiter auf jeder Faser jeweils über einen Teil des Querschnitts der Oberfläche optoelektronische Empfänger angeordnet sein. Von einer äußeren Lichtquelle wird durch den freigebliebenen Teil des Querschnitts Licht in die Lichtleiterfaser eingestrahlt und nach der Reflexion an der Applanationsfläche in der gleichen Lichtleiterfaser zum optoelektronischen Empfänger zurückgeführt und in elektrische Signale umgewandelt. Dabei nimmt der auf jeder Faser des Lichtleiters angeordnete optoelektronische Empfänger vorteilhaft den halben Querschnitt der Lichtleiterfaser ein. Er kann sowohl als Kreissegmentfläche, insbesondere als Halbkreisfläche, ausgeführt sein als auch in Form eines Kreisringes oder einer vorzugsweise konzentrisch angeordneten Kreisfläche, die kleiner ist als die Querschnittsfläche der Lichtleiterfaser.

Die Lichtquelle, die im feststehenden Teil des Gehäuses angeordnet ist, kann in dieser Variante, aber auch in der Ausführungsform mit aufgesetztem Prisma durch eine oder mehrere lichtemittierende Dioden gebildet sein, die in der dritten Variante in axialer Richtung gegenüber dem beweglichen Element hinter einer Streufolie angeordnet ist/sind.

Als Licht kann jede elektromagnetische Wellenlänge von Ultraviolett bis Infrarot, sowohl im sichtbaren als auch im unsichtbaren Bereich Verwendung finden. Um Störungen durch unvermeidbares Nebenlicht auszuschalten, kann die Wellenlänge vorteilhaft im Infrarotbereich von $0,85$ bis $25\text{ }\mu\text{m}$ liegen, vorzugsweise in der Größenordnung von $1,3\text{ }\mu\text{m}$. Es kann auch getaktetes Licht verwendet werden.

Um Fehlmessungen durch die Tränenflüssigkeit auszuschalten, wird nur Reflexlicht einer bestimmten Intensität erfaßt. Aus diesem Grund ist in der an sich bekannten elektronischen Meßwertumformer-Schaltung ein Schwellenwertgeber vorgesehen.

Bei einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Tonometers zur Messung des Augeninnendruckes nach dem Applanationsprinzip, das ein axial bewegbares Meßelement besitzt, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird, um einen Teil der Augenoberfläche abzuflachen und das damit zusammenwirkende Mittel zum Feststellen der Größe der abgeflachten Oberfläche bei einem vorgegebenen Druck, oder zum Feststellen des ausgeübten Druckes bei einer vorgegebenen Größe der abgeflachten Oberfläche enthält, sind als Meßsensoren auf dem axial beweglichen Meßelement auf der zum Abflachen des Auges dienenden Applanationsfläche ein oder mehrere akustische Oberflächenwellenwandler angeordnet, die je zwei oder mehr Interdigitalwandler aufweisen.

Der oder die Eingangsinterdigitalwandler werden mit einer bestimmten Hochfrequenzspannung gespeist, die sie in eine von ihren Abmessungen abhängige Oberflächenschallwellenlänge umformen. Diese Oberflächenschallwellen werden von den Ausgangs- oder Empfänger-Interdigitalwandlern aufgenommen und wieder in elektrische Signale einer bestimmten Frequenz umgewandelt, die mittels an sich bekannter elektronischer Mittel zu einer Analog- oder Digitalanzeige weiterverarbeitet werden.

Die Interdigitalwandler können auf der zum Abflachen des Auges dienenden Fläche so angeordnet sein, daß sie sich außerhalb des Bereiches befinden, der von der abgeflachten Oberfläche des Auges berührt wird, also im Randbereich. Sie können aber auch so angeordnet werden, daß sie ganz oder teilweise von der abgeflachten Oberfläche des Auges bedeckt werden.

Durch das Aufsetzen der mit dem akustischen Oberflächenwellenwandler versehenen Applanationsfläche auf das Auge werden die Oberflächenwellen zwischen den Interdigitalwandlern gedämpft. Die Dämpfung ist ein Maß für die Größe der abgeflachten Ober-

fläche des Auges. Durch bekannte Auswerteverfahren läßt sich das Maß der Dämpfung in Einheiten des Augeninnendrucks eichen.

Des weiteren kann die Strecke zwischen dem Sender-Interdigitalwandler und dem Empfänger-Interdigitalwandler als Laufzeitstrecke eines rückgekoppelten Generators betrieben werden.

Die Veränderung der Eigenschaften dieser Rückkopplungsstrecke durch die mit ihr in Berührung stehende abgeflachte Oberfläche des Auges kann durch bekannte elektronische Auswerteschaltungen in eine Frequenzänderung umgewandelt werden, wobei die resultierende Frequenz in Einheiten des Augeninnendrucks geeicht werden kann. Akustische Oberflächenwellenwandler sind allgemein bekannte Bauelemente. Sie bestehen aus einem meist piezoelektrischen Substrat, auf dem sich eine Oberflächenschallwelle ausbreitet. Über eingangs- und ausgangsseitige Wandler (Interdigitalwandler) wird elektrische in akustische Energie umgewandelt und umgekehrt. Wenn die Elektroden fingerförmig ineinandergeschoben sind, bestimmt ihr Abstand die Wellenlänge und damit die Frequenz der einkoppelbaren Oberflächenwelle.

Es wurde nun gefunden, daß auch eine Variation der Ausgangsfrequenz möglich ist, wenn auf den Wandler ein Fremdkörper in Form eines festen, halbfesten oder flüssigen Mediums aufgebracht wird und daß durch diese Maßnahme auch eine Dämpfung der Schwingungen hervorgerufen werden kann, die in Abhängigkeit vom Druck und/oder der Fläche erfaßbar ist.

Nach diesem Prinzip kann ebenfalls vorteilhaft ein einfach zu bedienendes Gerät zur Messung des Augeninnendrucks geschaffen werden. Dabei ist bei Verwendung am liegenden Patienten das axial bewegbare Meßelement senkrecht bewegbar in einem Gehäuse angeordnet und erhält ein konstantes Gewicht, mit dem es auf das Auge drückt. Das axial bewegbare Meßelement ist so ausgeführt, daß an der auf dem Auge aufliegenden Applanationsfläche der oder die akustischen Oberflächenwellenwandler angeordnet sind, deren Eingangs- oder Sender-Interdigitalwandler über Optokoppler vom Gehäuse mit elektrischer Energie einer vorgegebenen Frequenz versorgt werden, wobei die Optokoppler vorzugsweise

aus je zwei im Gehäuse angeordneten lichtemittierenden Dioden und der entsprechenden Anzahl auf dem axial beweglichen Meßelement angeordneten Photodioden oder Phototransistoren bestehen.

Der oder die Empfänger-Interdigitalwandler sind ebenfalls über Optokoppler mit dem Gehäuse verbunden, die die ihnen von den Wandlern zugeführte elektrische Energie optisch zum Gehäuse übertragen.

Vorzugsweise sind je Empfänger-Interdigitalwandler zwei lichtemittierende Dioden auf dem axial beweglichen Meßelement angeordnet und im Gehäuse eine entsprechende Anzahl Photodioden oder Phototransistoren, die die optisch übertragene Energie wieder in elektrische Signale umwandeln, die mittels bekannter elektronischer Mittel zu einer Analog- oder Digitalanzeige weiterverarbeitet werden.

Noch eine weitere Variante des erfindungsgemäßen Tonometers zur Messung des Augeninnendruckes nach dem Applanationsprinzip, das ein axial bewegbares Meßelement besitzt, mit dem eine Kraft auf das Auge ausgeübt wird, um einen Teil der Augenoberfläche abzuflachen und das damit zusammenwirkende Mittel zum Feststellen der Größe der abgeflachten Oberfläche bei einem vorgegebenen Druck oder zum Feststellen des ausgeübten Druckes bei einer vorgegebenen Größe der abgeflachten Oberfläche enthält, weist auf dem axial beweglichen Meßelement auf der zum Abflachen des Auges dienenden Applanationsfläche eine Vielzahl von Drucksensoren auf der Basis von Halbleiterkristallen auf.

Diese Halbleiter-Drucksensoren bestehen zweckmäßig aus einem Silizium-Substrat, das mit unterschiedlichen Widerstandsmaterialien neutronendotiert ist, wobei mehrere Widerstände in Brückenschaltung eindotiert sind. Derartige Halbleiter-Drucksensoren mit einer eindotierten Brückenschaltung sind an sich bekannt. Wenn ein derartiger Drucksensor einem Druck ausgesetzt wird, tritt eine Verstimmung der Brückenschaltung ein, wobei die durch die Verstimmung der Brückenschaltung auftretende Differenzspannung ein Maß für den Druck darstellt, der auf den Drucksensor wirkt. Der Ansprechwert der bekannten Drucksensoren liegt in der Größenordnung des durch den Augeninnendruck erzeugten Gegendrucks auf der applanierten Augenoberfläche.

Auf der Applanationsfläche des erfindungsgemäßen Tonometers werden eine Vielzahl derartiger Drucksensoren in Form von auf einem oder mehreren Halbleiter-Drucksensoren-Substraten eindotierter Brückenschaltungen angeordnet, wobei die Anordnung zweckmäßig in Form einer Matrix erfolgt. Es ist aber auch möglich, die Drucksensoren in Form eines Sterns, einer Spirale oder auch nur eines Kreuzes anzuordnen. Das Rastermaß für die einzelnen Drucksensoren liegt zweckmäßig unter $300\text{ }\mu\text{m}$, vorteilhaft in der Größenordnung von 50 bis $100\text{ }\mu\text{m}$ oder möglichst darunter. Die Größe des Rastermaßes ist eine Frage der Herstellungstechnologie, und der Wert soll so niedrig wie möglich sein.

Die im Drucksensor in Form eines elektrischen Signals vorliegende Information wird impulsweise herausgeschoben und zeilenweise abgenommen, wie dies z. B. bei den bekannten CCD-Bauelementen erfolgt, so daß die Ansteuerung und die Abnahme der Information jeweils über nur eine Leitung erfolgen kann, wobei die Verstärkung des Ausgangssignals in bekannter Form erfolgt (Elektronik 1980 H. 10; S. 49).

In gleicher Weise können auch bei den optisch-elektronisch arbeitenden Varianten die Reflexe ausgezählt und als Reflexanzahl und nicht nur als Reflexlichtmenge der Auswertungsschaltung zugeführt werden.

Das Auswerten der einzelnen elektrischen Signale der Drucksensoren erfolgt mittels bekannter elektronischer Schaltungen. Es kann das Integral der Meßwerte ausgelesen werden und in Angaben des Druckes analog, digital, mit Kurzzeitspeicherung oder in laufender Anzeige ausgegeben werden. Es kann auch die Druckdifferenz zwischen der Mitte der Applanationsfläche und dem Rand derselben ermittelt werden, wobei einzelne Isobaren ermittelt werden können, deren eventuelle Unregelmäßigkeiten Aufschluß über Verhärtungen einzelner Stellen geben können. Durch Vorsehen eines Schwellenwertgebers ist es auch möglich, den Einfluß der Tränenflüssigkeit zu eliminieren, deren Gegendruck ja wesentlich geringer ist als der der applanierten Augenoberfläche.

Auch nach diesem erfindungsgemäßen Prinzip kann vorteilhaft ein einfach zu bedienendes Gerät zur Messung des Augeninnendrucks

am liegenden Patienten geschaffen werden. Dabei ist das axial bewegbare Meßelement senkrecht bewegbar in einem Gehäuse angeordnet und erhält ein konstantes Gewicht, mit dem es auf das Auge drückt. Das axial bewegbare Meßelement ist so ausgeführt, daß an der auf dem Auge aufliegenden Applanationsfläche die Halbleiter-Drucksensoren angeordnet sind.

Bei allen zur Anwendung am liegenden Patienten vorgesehenen Tonomern ist das axial bewegbare Meßelement in einem Gehäuse angeordnet, gegen das es eine Relativbewegung ausführt. Es weist ein vorgegebenes Eigengewicht auf, und die an seiner Applanationsfläche angeordneten Sensoren stehen mit den zur Auswertung erforderlichen Mitteln, die gemeinsam mit den zur Energieversorgung dienenden Batterien und der Anzeige selbst in dem zur Handhabung geeigneten Gehäuse angeordnet sind, reibungslos in Wirkbeziehung.

Das wird durch eine rein optische Kopplung des bewegbaren Meßelements mit dem Gehäuse erreicht, so daß ein völlig reibungsloses Arbeiten mit dem Gerät möglich ist, wodurch jede Verfälschung des Meßwertes ausgeschlossen wird. Es ist zweckmäßig, wenn die optische Kopplung an dem der Applanationsfläche gegenüberliegenden Ende des axial bewegbaren Meßelementes vorgenommen wird, wobei das Meßelement dann vorteilhaft prismenförmig ausgeführt ist. Um zu vermeiden, daß das axial bewegbare Meßelement um seine Längsachse verdreht wird, ist es zweckmäßig, es nicht als Zylinder auszuführen, sondern es mit polygonförmigem Querschnitt in einer Führung mit gleichem Querschnitt im Gehäuse anzuordnen. Es können aber bei zylindrischem Querschnitt auch geeignete Mittel vorgesehen werden, die ein Verdrehen verhindern oder die optische Kopplung trotzdem ermöglichen.

Es ist auch möglich, die Energie zwischen dem Gehäuse und dem axial bewegbaren Meßelement reibungslos auf induktivem Weg zu übertragen. Dazu wird im Gehäuse ein induktiver Geber vorgesehen, der mit einem an entsprechender Stelle des axial bewegbaren Meßgliedes angeordneten induktiven Empfänger in Wirkbeziehung steht, der seinerseits mit dem Eingang der Meßsensoren verbunden ist. Der Ausgang der Meßsensoren ist mit einem auf dem axial beweglichen Meßelement angeordneten induktiven Geber verbunden,

der mit einem induktiven Empfänger im Gehäuse in Wirkbeziehung steht, der an geeigneter Stelle in demselben angeordnet ist. Die induktiven Elemente können sowohl in Form von Spulen als auch in Form aufgedampfter oder anderweitiger, nach bekannten Verfahren aufgebrachten Strukturen vorgesehen sein, wobei es zweckmäßig ist, im Gehäuse Spulen anzuordnen und auf dem axial bewegbaren Meßelement aufgedampfte oder anderweitig aufgebrachte Strukturen anzuordnen.

Um ein einwandfreies Arbeiten mit dem Tonometer am liegenden Patienten zu gewährleisten, muß dieses exakt senkrecht gehalten werden. Deshalb sind am Gehäuse, an der Austrittsstelle des axial bewegbaren Meßelementes mindestens drei Optokoppler, vorzugsweise Reflexkoppler, über den Umfang verteilt angeordnet. In dem Bereich des axial bewegbaren Meßgliedes, der beim Messen den Optokopplern gegenübersteht, ist dieses mit einem ringförmigen, reflektierenden Belag versehen. Bei genau senkrecht stehendem Gerät wird der vom optischen Sender des Reflexkopplers ausgesandte Lichtstrahl beim auf das Auge aufgesetzten Gerät von dem reflektierenden Belag reflektiert und vom optischen Empfänger des Reflexkopplers empfangen. Das erzeugte elektrische Signal kann dazu verwandt werden, den Meßvorgang auszulösen. Wird das Gerät so aufgesetzt, daß das axial bewegbare Meßelement nicht senkrecht steht, also verkantet ist und am Gehäuse anliegt, wird der vom Sender des Reflexkopplers ausgehende Lichtstrahl vom reflektierenden Belag des Meßelementes nach oben oder unten abgelenkt und erreicht den Empfänger nicht. Das nicht vorhandene elektrische Signal sperrt den Meßvorgang. Bei Ausführung des reflektierenden Belags in geeigneter Breite wird gleichzeitig erreicht, daß das Gerät in nicht aufgesetztem Zustand nicht arbeitet. Zwei verschiedenfarbige LED, die an geeigneter Stelle des Gehäuses angeordnet sind, zeigen an, ob das Gerät mißt oder ob der Meßvorgang unterbrochen ist, so daß der mit dem Gerät Arbeitende über den Zustand des Gerätes und den Zeitpunkt, zu dem es genau senkrecht gehalten wird, informiert ist.

Bei einer Verwendung des Gerätes am sitzenden Patienten ist das Gerät zweckmäßig so ausgeführt, das das axial bewegbare Meßelement mit den Meßsensoren an der Applanationsfläche waagerecht

bewegbar an einem Hebel befestigt ist, dessen waagerechte Kraft regulierbar ist, um einen vorgegebenen Druck der Applanationsfläche auf das Auge einstellen zu können.

In dieser Ausführungsform sind mehrere Varianten möglich. Es kann das Gerät im Prinzip ebenso ausgeführt sein wie das zur Verwendung am liegenden Patienten, nur daß das axial bewegbare Meßelement an dem genannten Hebel befestigt ist, der durch einen Schlitz des Gehäuses geführt ist, und wiederum optisch an das Gehäuse angekoppelt ist, das die Stromversorgung und die elektronischen Mittel einschließlich der Anzeige enthält.

Es kann aber auch das gesamte Gerät einstückig ausgeführt an dem Hebel befestigt und somit axial bewegbar sein, so daß sich eine Ausführung in Form eines festen Gehäuses und eines zu diesem relativ bewegbaren Meßelements erübrigt. In dieser Ausführung für sitzende Patienten sind am vorderen Ende des axial waagrecht bewegbaren Hebelendes die Meßsensoren angeordnet, und die Stromversorgung, die elektronischen Mittel und die Digitalanzeige können an beliebiger Stelle des Gerätes, für den Untersuchenden leicht sichtbar, angeordnet sein.

Diese und weitere Varianten, besonders bei dem Gerät mit Lichtleitern, sind in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fehlmessungen durch Tränenflüssigkeit, die sich durch Verdrängung von der Applanationsfläche und durch Kapillarwirkung herangezogen, um die Applanationsfläche sammelt, werden dadurch vermieden, daß die verschiedene Auswirkung der Flüssigkeit im Gegensatz zum relativ festen Körper des Auges auf die Meßsensoren durch die elektronische Auswertungsschaltung erfaßt und der Anteil der Tränenflüssigkeit eliminiert wird.

Um eine leichte Reinigung und einen Schutz der Applanationsfläche und damit ein hygienisches Arbeiten zu ermöglichen, kann die den oder die Meßsensoren enthaltende Applanationsfläche mit einer Schutzschicht versehen werden.

Die elektronische Auswerteschaltung und die digitale Anzeige können mit bekannten Mitteln so ausgeführt sein, daß eine Anzeige des Minimal-, Mittel- und Maximalwertes des Augendrucks, bedingt durch die Abhängigkeit vom Pulsationsdruck des Blutes, möglich ist. Dies kann durch Speichern der drei Werte und Abfragen bei nur einer Digitalanzeige geschehen oder durch drei getrennte Digitalanzeigen. Es ist auch eine mit der Variation des Wertes mitlaufende Anzeige möglich, die gegebenenfalls bei jedem Wert angehalten werden kann.

Das erfindungsgemäße Tonometer weist gegenüber den bekannten Geräten folgende Vorteile auf:

- geringer gerätetechnischer Aufwand,
- geringe Kosten,
- leichte Handhabung,
- Anwendbarkeit für nicht speziell geschulte Personen,
- optoelektronische Meßwerterfassung und Anzeige, dadurch frei von subjektiven Fehlern,
- keine mechanische Reibung im Meßsystem, die durch äußere Umstände variieren und zu Meßfehlern führen kann,
- geringe Abmessung,
- leicht zu säubern und zu desinfizieren,
- weitgehende Ausschaltung des Einflusses der Tränenflüssigkeit,
- hohes Auflösungsvermögen.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung des Verlaufs der Lichtstrahlen im Bereich der Applanationsfläche bei einem Tonometer, dessen Meßglied im wesentlichen aus Lichtleitern besteht, in einer ersten Variante;

- Fig. 2: eine erste Form des Meßgliedes zur Verwendung des erfindungsgemäßen Tonometers am liegenden Patienten mit einem axial bewegbaren Meßelement aus Lichtleitern in Trommelform, schematisch dargestellt;
- Fig. 3: eine zweite Form des Meßgliedes zur Verwendung am liegenden Patienten mit einem axial bewegbaren Meßelement aus Lichtleitern in Prismenform, schematisch dargestellt;
- Fig. 4: eine dritte Form des Meßgliedes zur Verwendung am liegenden Patienten mit einem axial bewegbaren Meßelement aus Lichtleitern in Prismenform mit seitlicher Lichtzuführung, schematisch dargestellt;
- Fig. 5: eine vierte Form des Meßgliedes zur Verwendung am liegenden Patienten mit einem axial bewegbaren Meßelement aus Lichtleitern in langgestreckter Form, schematisch dargestellt;
- Fig. 6: eine zweite Variante, bei der das axial bewegbare Meßelement außer den Lichtleitern wechselweise optisch-elektronische Sender und Empfänger auf den einzelnen Fasern des Lichtleiters enthält, schematisch dargestellt;
- Fig. 7: eine dritte Variante, bei der ein Teil des Querschnitts jeder einzelnen Lichtleiterfaser mit einem optisch-elektronischen Sensor ausgestattet ist, schematisch dargestellt;
- Fig. 8: eine schematische Darstellung der Applanationsfläche eines Tonometers mit akustischen Oberflächenwellenwandlern als Meßsensoren;
- Fig. 9: eine Variante des erfindungsgemäßen Tonometers zur Verwendung am liegenden Patienten mit einem axial bewegbaren Meßelement mit optoelektronischer Kopplung an das zur Handhabung dienende Gehäuse, schematisch dargestellt, im Schnitt;
- Fig. 10: eine zweite Variante des erfindungsgemäßen Tonometers zur Verwendung am liegenden Patienten mit einem axial bewegbaren Meßelement mit induktiver Kopplung an das zur Handhabung dienende Gehäuse, schematisch dargestellt, im Schnitt;

Fig. 11: eine schematische Darstellung der Applanationsfläche eines Tonometers mit Drucksensoren als Meßsensoren;

Fig.12-14: schematische Darstellungen von Gerätevarianten zur Anwendung bei sitzenden Patienten.

Die Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung bei einer ersten Variante die Wirkungsweise des optisch-elektronisch messenden erfindungsgemäßen Applanationstonometers. Das im wesentlichen aus einer Vielzahl von Lichtleitern 2 bestehende axial bewegbare Meßelement 1 wird mit einem Druck P auf den Augapfel 3 aufgesetzt, wodurch eine abgeflachte Fläche F entsteht. Seitlich von dieser Fläche sammelt sich die verdrängte und durch die Kapillarwirkung herangezogene Tränenflüssigkeit 4. Diese führt bei den elektrischen Flächenmessungen zu Meßfehlern und kann auch die Ursache für eine subjektive optische Fehlmessung sein. Bei dem erfindungsgemäßen Tonometer wird nun Licht L in die Lichtleiter eingestrahlt. Im Bereich der Applanationsfläche F wird das Licht ungebrochen reflektiert und läuft durch den gleichen oder einen benachbarten Lichtleiter als Reflexlicht R zurück. Im Bereich der Tränenflüssigkeit wird das Licht ebenfalls erst auf dem Augapfel 3 reflektiert, und zwar unter einem Winkel. Wenn Reflexe dieses Licht als gebrochenes Reflexlicht R' in einen Lichtleiter gelangen, ist seine Lichtstärke durch die Absorption in der Tränenflüssigkeit und die durch das schräge Auftreffen auf den Lichtleiter verringerte Leuchtdichte schwächer als die Lichtstärke des Reflexlichtes R. Diese verringerte Lichtstärke ergibt in den optischen Sensoren ein schwächeres elektrisches Signal, das dann in der angeschlossenen an sich bekannten elektronischen Auswertungsschaltung durch einen Schwellenwertgeber eliminiert wird. Es wird also nur das Reflex-Licht R gemessen und so der Einfluß der Tränenflüssigkeit weitgehend ausgeschaltet.

Bei der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Tonometers zur Verwendung am liegenden Patienten sind die Lichtleiter von der Applanationsfläche aus zu der äußeren Wandung des trommelförmigen beweglichen Meßelements 1 geführt, wo sie im rechten Winkel zur Applanationsfläche enden. Im Gehäuse 5 des Tonometers sind Lichtquellen 6 hier Licht emittierende Dioden und optische Sensoren 7 hier Photodioden gegenüber den

Enden der Lichtleiter angeordnet. Beim erläuterten Beispiel soll angenommen werden, daß sich auf der linken Seite der Fig. 2 die LED 6 und auf der rechten Seite die Photodioden 7 befinden. Die Anordnung kann aber auch anders gewählt werden. Das Licht der LED 6 wird in den Licht aufnehmenden Lichtleiter 2.1 eingestrahlt und zur Applanationsfläche F geleitet, wo es vom Augapfel 3 reflektiert wird. Das Reflexlicht R wird von Reflexlicht führenden Lichtleitern 2.2 zu den Photodioden 7 geführt und von diesen in elektrische Signale umgewandelt, die in bekannten elektronischen Schaltungen zu einer Digitalanzeige weiterverarbeitet werden.

Bei der in Fig. 3 gezeigten Form ist das axial bewegbare Meßelement 1 durchgehend prismenförmig ausgeführt. Die Lichtquelle oder die Lichtquellen 6 im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 LED sind oberhalb des prismenförmigen, an beiden Seiten plangeschliffenen, aus Lichtleitern 2 bestehenden Meßelementes 1 im Gehäuse 5 angeordnet. Die optischen Sensoren 7 befinden sich an der gleichen Stelle, wobei die Ordnung der optischen Mittel beliebig ist. Das von den LED 6 ausgestrahlte Licht wird durch die Lichtleiter 2 zur Applanationsfläche F geleitet und vom Augapfel 3 reflektiert. Das Reflexlicht wird von den optischen Sensoren 7 in elektrische Signale umgewandelt, die, wie schon erwähnt, zu einer digitalen Anzeige weiterverarbeitet werden. Das von der Tränenflüssigkeit 4 gestreute Licht wird auch hier eliminiert.

Die Form in Fig. 4 zeigt eine Ausführung, bei der das Licht in einem Winkel eingestrahlt wird. Gleiche Elemente sind mit dem gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet wie in den anderen Fig.. Als Lichtquelle dient hier eine Glühlampe 8, die mit einer Sammellinse 9 und einem Diffusor 10 ein über den ganzen Querschnitt gleiches Licht erzeugt. Zur Steigerung der Lichtstärke kann ein Spiegel 11 vorgesehen werden. Das seitlich eingestrahlte Licht 12 wird mittels eines halbverspiegelten Prismas 13 in die Lichtleiter 2 geleitet, und das vom Augapfel 3 reflektierte Licht wird durch das Prisma 13, das in der Richtung des Reflexlichtes durchlässig ist, auf die optischen Sensoren 7 abgestrahlt und in bekannter Weise ausgewertet.

Fig. 5 zeigt noch eine weitere Form, deren Wirkungsweise der der anderen entspricht. Das axial bewegbare Meßelement 1 ist hier in langgestreckter Form ausgeführt. Die entsprechenden Bauelemente sind mit gleichen Bezugszeichen wie in den entsprechenden Fig. 1 - 4 gekennzeichnet.

Bei allen diesen Ausführungsformen der ersten Variante enthält das axial bewegbare Meßelement 1 keine elektronischen Elemente, sondern nur Lichtleiterelemente zum Führen des eingestrahnten Lichtes zur Applanationsfläche und des Reflexlichtes von der Applanationsfläche zu den optisch-elektronischen Empfängern, wobei sowohl die Lichtquellen als auch die Empfänger im Gehäuse angeordnet sind.

Bei einer zweiten in der Figur 6 dargestellten Variante des Applanationsstometers mit opto-elektronischer Meßwerterfassung ist das axial bewegbare Meßelement 1 auf der zum Abflachen des Auges 3 dienenden Seite ebenfalls eben geschliffen und poliert. Auf der der Applanationsfläche F gegenüberliegenden Seite des axial bewegbaren Meßelementes 1 sind auf den Enden der einzelnen Fasern 2' der Lichtleiter 2 wechselweise als Lichtquelle 6 photoelektronische Sender 6' und photoelektronische Empfänger 7' angeordnet. Das von jeweils einem photoelektronischen Sender 6' in eine Licht aufnehmende Lichtleiterfaser 2.1 hineingestrahlte Licht L wird an der Applanationsfläche reflektiert und durch eine benachbarte, Reflexlicht R führende Lichtleiterfaser 2.2 zu dem auf dieser angeordneten photoelektronischen Empfänger 7' geführt.

Bei einer dritten Variante mit dem gleichen Meßprinzip, die in Figur 7 gezeigt ist, können auf der der Applanationsfläche gegenüberliegenden Seite des axial beweglichen Elements 1 auf den Enden der einzelnen Fasern 2' der Lichtleiter 2 auf jeder Faser 2' jeweils über einen Teil des Querschnitts der Oberfläche opto-elektronische Empfänger 7' angeordnet sein. Von einer äußeren Lichtquelle (nicht dargestellt) wird durch den freigebliebenen Teil des Querschnitts Licht L in die Lichtleiterfaser 2' eingestrahlt und nach der Reflexion an der Applanationsfläche F in der gleichen Lichtleiterfaser zum optoelektronischen Empfänger 7' zurückgeführt und in elektrische Signale umgewandelt. Dabei nimmt der auf jeder Faser 2' des Lichtleiters angeordnete opto-elektronische Empfänger 7' vorteilhaft den halben Querschnitt

der Lichtleiterfaser 2' sein. Er kann sowohl als Kreissegmentfläche, insbesondere als Halbkreisfläche, ausgeführt sein als auch in Form eines Kreisringes oder einer vorzugsweise konzentrisch angeordneten Kreisfläche, die kleiner ist als die Querschnittsfläche der Lichtleiterfaser 2'.

Die Lichtquelle, die im feststehenden Teil des Gehäuses angeordnet ist, kann in dieser Variante, aber auch in der Ausführungsform mit aufgesetztem Prisma der ersten Variante durch eine oder mehrere lichtemittierende Dioden gebildet sein, die aber in der dritten Variante in axialer Richtung gegenüber dem axial beweglichen Element 1 hinter einer Streufolie angeordnet ist/sir

Zum Ausschließen von Meßfehlern durch eingestreutes Nebenlicht kann im Tonometer zum Messen außer sichtbarem Licht auch UV- oder IR-Strahlung verwendet werden. Eine besonders vorteilhafte Wellenlänge liegt in der Größenordnung von $1,3\text{ }\mu\text{m}$. Es kann auch getaktetes Licht verwendet werden.

Beim erfindungsgemäßen Tonometer können als Meßsensoren auch akustische Oberflächenwellenwandler 30 Anwendung finden, die, wie in der Figur 8 dargestellt ist, auf der Applanationsfläche angeordnet werden. Die Fläche F des axial bewegbaren Meßelementes 1 drückt auf das Auge 3 und flacht eine mit einer ausgezogenen Linie dargestellte Fläche ab. Um diese Fläche herum sammelt sich Tränenflüssigkeit 4, die in Form einer gestrichelten Linie schematisch angedeutet ist.

Diese führt bei den bekannten elektrischen Flächenmessungen zu Meßfehlern und kann auch die Ursache für eine subjektive optische Fehlmessung sein.

Wenn der Eingangsinterdigitalwandler 30.1 (Sender) mit Elektroenergie einer bestimmten Frequenz angeregt wird, erzeugt er akustische Oberflächenwellen einer von seinen Abmessungen abhängigen Frequenz, die über die Applanationsfläche F zum Ausgangsinterdigitalwandler 30.2 (Empfänger) wandern und von diesen wieder in Elektroenergie umgewandelt werden. Dieses an sich bekannte Bauelement wird zu verschiedenen Zwecken verwendet, bei denen es jedoch von Bedeutung ist, keine Störeinflüsse zu erhalten. Wird nun auf diesen akustischen Oberflächenwellenwandler 30 ein Körper oder eine Flüssigkeit aufgebracht bzw. die Fläche F, auf der der Wandler 30 angeordnet ist, z. B. gegen ein Auge ge-

drückt, tritt eine Dämpfung oder Frequenzverstimmung auf, die von der Größe der Fläche F abhängig ist und mittels bekannter elektronischer Schaltungen ausgewertet wird. Diese Veränderung ist im Bereich der ausgezogenen Kreisfläche, die die abgeflachte Fläche F eines Auges 3 darstellt, anders als im Bereich der mit der gestrichelten Linie gezeichneten Kreisfläche, die die Tränenflüssigkeit darstellen soll. Dieser Umstand ermöglicht es, den Einfluß der Tränenflüssigkeit weitestgehend auszuschalten.

Es ist auch möglich, geeignete Drucksensoren auf der Basis von Halbleiterkristallen als Meßsensoren zu verwenden. Eine derartige Ausführung ist in der Figur 11 schematisch dargestellt.

Die untere, die Drucksensoren 40 enthaltende Applanationsfläche F des axial bewegbaren Meßelementes 1 drückt auf das Auge 3 und flacht eine, mit einer ausgezogenen Linie in Fig. 11 dargestellte Fläche ab. Um diese Fläche herum sammelt sich Tränenflüssigkeit 4, die in Form einer gestrichelten Linie schematisch dargestellt ist. Diese führt bei den elektrischen oder manuell-optischen Flächenmessungen häufig zu Meßfehlern.

Wenn auf die auf der Applanationsfläche F angeordneten Drucksensoren 40 ein Druck ausgeübt wird, z. B. durch den Gegendruck des Auges 3, der abhängig vom Augeninnendruck ist, tritt eine Verstimmung der Brückenschaltungen ein, wobei die dadurch auftretende Differenzspannung ein Maß für die Größe des Druckes ist. Nun kann durch Abfragen der Größe der Verstimmung der einzelnen Drucksensoren der Druck bei einer vorgegebenen Fläche, die durch Zählen der verstimmten Drucksensoren 40 bestimmt wird, ermittelt werden oder die Größe der Fläche, durch Zählen der verstimmten Drucksensoren, bei einem vorgegebenen Druck. Letzterer kann durch das Eigengewicht des axial bewegbaren Meßelementes 1 oder durch andere Mittel definiert sein, wobei eine Kontrolle durch die Größe der Verstimmung möglich ist.

Die Drucksensoren 40 können in jeder beliebigen Konfiguration auf der Applanationsfläche F angeordnet werden, die eine Flächenermittlung durch Zählen der verstimmten Sensoren gestattet, wie Matrix-, Stern-, Spiral- oder Kreuzformen. Die Auflösung ist von der Dichte der Anordnung der Sensoren abhängig, und das Rastermaß sollte im Bereich von 50 bis 100 μm oder darunter liegen.

Die Figuren 9 und 10 zeigen einfach zu handhabende kleine und leichte Applanationstonometer zur Verwendung am liegenden Patienten, bei denen das axial bewegbare Meßelement 1, das ein konstantes bestimmtes Gewicht aufweist, mit der Applanationsfläche F auf das Auge 3 aufgesetzt wird. Im Gehäuse 5 sind die Batterie 24 zur Energieversorgung und die elektronischen Mittel 25 zur Verarbeitung der Meßwerte zu einer vorzugsweisen Digitalanzeige angeordnet.

Die auf der Applanationsfläche F des beweglichen Meßelementes 1 angeordneten Meßsensoren werden über Optokoppler 26 mit Elektroenergie versorgt, und die Ausgänge der Meßsensoren werden ebenfalls über Optokoppler 27 vom bewegbaren Meßelement 1 zu den im Gehäuse 5 befindlichen elektronischen Mitteln 25 der Auswertung übertragen, die diese Signale zu einer Digitalanzeige 28 verarbeitet, die an beliebiger Stelle sichtbar gemacht werden kann.

Wie in Fig. 10 dargestellt, kann die Kopplung zwischen dem Gehäuse 5 und dem axial beweglichen Meßelement 1 auch induktiv erfolgen. Dann ist auf der Eingangsseite der Energie im Gehäuse 5 ein induktiver Geber 31 vorgesehen, der mit der Energiequelle verbunden ist. Ihm gegenüber befindet sich auf dem axial bewegbaren Meßelement 1 ein induktiver Empfänger 32, der mit dem Eingang des Meßsensors verbunden ist. Vom Ausgang des Meßsensors wird die Ausgangsenergie auf einen induktiven Geber 31 geleitet, der auf dem axial bewegbaren Meßelement 1 gegenüber einem induktiven Empfänger 32 angeordnet ist. Letzterer leitet seine Signale zu einer elektronischen Auswertungsschaltung, die sie zu einer Anzeige weiterverarbeitet.

Zur Kontrolle, daß das Gerät genau senkrecht gehalten wird, oder zur Sicherung, daß das Gerät nur bei genau senkrechter Lage mißt und somit Reibung durch ein Schleifen an den Wänden des Gehäuses oder Fehlmessungen durch schräges Aufsetzen vermieden werden, ist an allen Geräten zur Verwendung am liegenden Patienten eine Überwachungseinrichtung vorgesehen. Diese besteht aus mindestens drei Optokopplern, vorzugsweise Reflexkopplern 22, mit nebeneinanderliegenden Sendern und Empfängern. Diese Reflexkoppler 22 sind an der Stelle des Gehäuses 5 gleichmäßig über den Umfang verteilt angeordnet, an der das axial bewegbare Meßelement aus-

dem Gehäuse 5 antritt. An der Stelle des axial bewegbaren Meßelementes 1, die sich beim Messen, d. h. beim auf das Auge 3 aufgesetzten Meßelementes 1 den Reflexkopplern 22 gegenüber befindet, ist ringförmig ein reflektierender Belag 23 aufgebracht.

Bei genau senkrecht stehendem Gerät wird der vom optischen Sender, z. B. einer Photodiode, ausgesandte Lichtstrahl beim auf das Auge 3 aufgesetztem Gerät von dem reflektierenden Belag 23 reflektiert und vom optischen Empfänger, z. B. einer Photodiode oder einem Phototransistor, empfangen. Das erzeugte elektrische Signal kann dazu verwendet werden, den Meßvorgang auszulösen. Stehen das axial bewegbare Meßelement 1 und das Gehäuse 5 nicht achsengleich senkrecht, wird der von der Photodiode des Reflexkopplers 22 ausgesandte Lichtstrahl vom reflektierenden Belag 23 des Meßelementes 1 nach oben oder unten abgelenkt und erreicht den Empfänger nicht. Das nicht vorhandene elektrische Signal sperrt den Meßvorgang.

Bei Ausführung des Belags in geeigneter Breite wird gleichzeitig erreicht, daß das Gerät in nicht aufgesetztem Zustand nicht arbeitet.

Zwei verschiedenfarbige LED 33 und 34, die an geeigneter Stelle des Gehäuses angeordnet sind, zeigen an, ob das Gerät mißt oder ob der Meßvorgang unterbrochen ist. Damit ist der mit dem Gerät Arbeitende über den Zeitraum, in dem das Gerät arbeitet, stets informiert und auch darüber, daß es nicht gerade aufgesetzt ist.

Bei allen vorgenannten Varianten zur Verwendung am liegenden Patienten sind im zur Handhabung erforderlichen Gehäuse 5 auch die elektronischen Mittel 25 zur Weiterverarbeitung der elektrischen Signale der optischen Sensoren zu einer digitalen Anzeige 28, diese Anzeige selbst und die erforderliche Batterie 24 zur Stromversorgung untergebracht. Damit ist das Gerät völlig unabhängig und leicht zu handhaben. Da nur die relativ weit aus dem Gehäuse hervorstehende Applikationsfläche F des axial beweglichen Meßelementes 1 mit dem Auge in Berührung kommt und diese entweder als geschliffene, polierte Glasfläche ausgeführt oder mit einem glatten Überzug 36 aus einem geeigneten Material versehene Fläche F leicht zu reinigen ist, ist auch eine hygienische Anwendung gesichert.

Es ist auch selbstverständlich, daß die axial bewegbaren Meßelemente gegen ein Herausfallen aus dem Gehäuse gesichert sind.

Die in den Fig. 12, 13 und 14 gezeigten möglichen Ausführungsformen sind zur Anwendung des erfindungsgemäßen Tonometers am sitzenden Patienten geeignet. Diese Form wird vorwiegend in Geräten für klinische Untersuchungen Anwendung finden, weshalb ein höherer gerätetechnischer Aufwand und eine nicht so einfache Handhabung wie bei den oben erläuterten Varianten in Kauf genommen werden kann.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 12 ist das axial bewegbare Meßelement, das in diesem Beispiel im wesentlichen aus Lichtleitern 2 besteht, als fester Bestandteil eines ersten Armes 14 eines Hebels 15 ausgebildet, an dessen zweitem Arm 16 ein veränderliches, vorzugsweise verschiebbares Gewicht 17 zur Regulierung des waagerechten Drucks P vorgesehen ist, mit dem die Applanationsfläche F auf den Augapfel 3 drückt. Die Druckveränderung kann selbstverständlich auch auf andere Weise bewirkt werden. Die Lichtleiter 2 sind in einem Kabel 18, zweckmäßig am Drehpunkt 19 des Hebels 15 zu einem Auswerte- und Anzeigegerät 20 herausgeführt, das die Stromversorgung, die Lichtquelle oder Lichtquellen, die optischen Sensoren, die elektronische Auswerteschaltung und die Digitalanzeige 21 enthält.

Das von den Lichtquellen im Innern des Auswerte- und Anzeigegerätes 20 an die Lichtleiter eingestrahlte Licht wird zur Applanationsfläche F geleitet, vom Augapfel 3 reflektiert und zu den ebenfalls im Auswerte- und Anzeigegerät 20 angeordneten optischen Sensoren zurückgeführt. Die erzeugten elektrischen Signale werden zu einer Digitalanzeige weiterverarbeitet, wie dies schon weiter oben mehrfach erwähnt wurde. Bei der Ausführung nach Fig. 13 sind die möglicherweise auftretenden Ungenauigkeiten durch mechanische Rückwirkungen des Lichtleiterkabels auf die Hebelkräfte ausgeschaltet, indem der Übergang vom beweglichen auf den feststehenden Teil der Vorrichtung auf optischem Wege erfolgt. Es ist deshalb ein feststehendes Gehäuse 5 vorgesehen, in dem sich das am Hebelarm 14 befestigte axial bewegliche Meßelement 1 reibungslos bewegt. Die Ausführungsformen des Meßelementes 1 und des Gehäuses 5 sind beliebig analog denen der Ausführungsformen für die Verwendung am liegenden Patienten möglich. In Fig. 13 ist das Meßelement 1 mit seinen Lichtleitern 2 als durchgängiges Prisma dargestellt, und die LED 6 und Photo-

diolen 7 sind an der Rückwand des Gehäuses 5 angeordnet. Es sind aber, wie schon erwähnt, auch andere Formen möglich. Das Lichtleiterkabel 18 verläuft hier vom feststehenden Gehäuse 5 zum Auswerte- und Anzeigegerät 20.

In einer Variante nach Fig. 14 können auch die gesamten Auswerte- und Anzeigeelemente mit dem Meßglied in einem Stück, ohne relative Bewegbarkeit ausgeführt werden. Dann ist am Hebel 15 das Gehäuse 5 fest angeordnet und weist einen dem Durchmesser des Meßgliedes der anderen Varianten entsprechenden Ansatz 35 auf, an dessen Frontfläche die Meßsensoren in bereits beschriebener Art angeordnet sind. Die elektronischen Mittel (nicht dargestellt) und die Digitalanzeige 9 sind dann im mit dem Hebel 15 schwenk- und bewegbaren Gehäuse 5 untergebracht. Auch hier kann die Energieversorgung mittels einer äußeren Energiequelle erfolgen, wobei dann die Zuleitung (nicht dargestellt) zweckmäßig am Drehpunkt 19 des Hebels 15 eingeführt wurde, um die Rückwirkungen auf das Drehmoment gering zu halten. Es kann aber auch eine Batterie im Gehäuse vorgesehen sein. Auch hier kann die Frontfläche 37 mit einem geeigneten glatten Überzug 36 versehen sein, um die Reinigung und die Desinfektion zu erleichtern.

Nummer:
Int. Cl. 3:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

34 21 701
A 61 B 3/16
12. Juni 1984
13. Dezember 1984

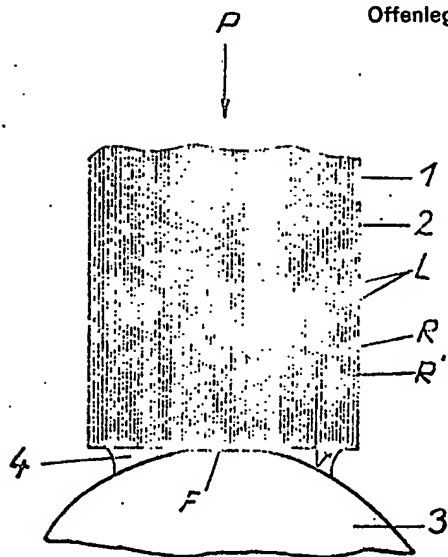


Fig. 1

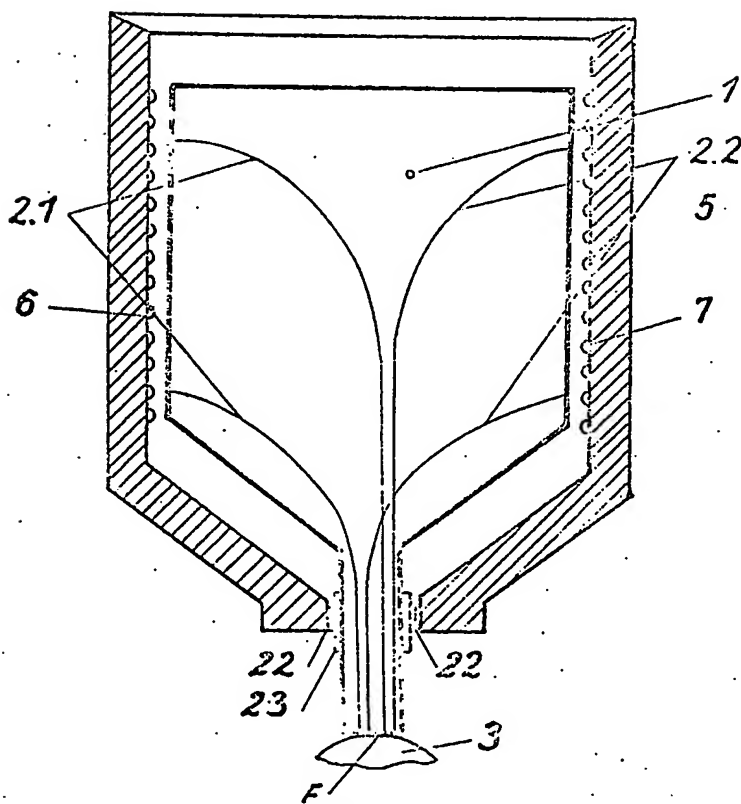


Fig. 2

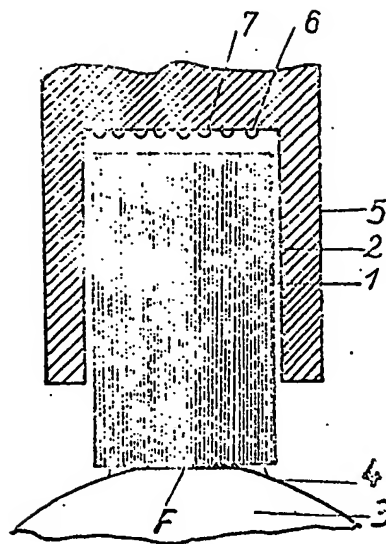


Fig. 3

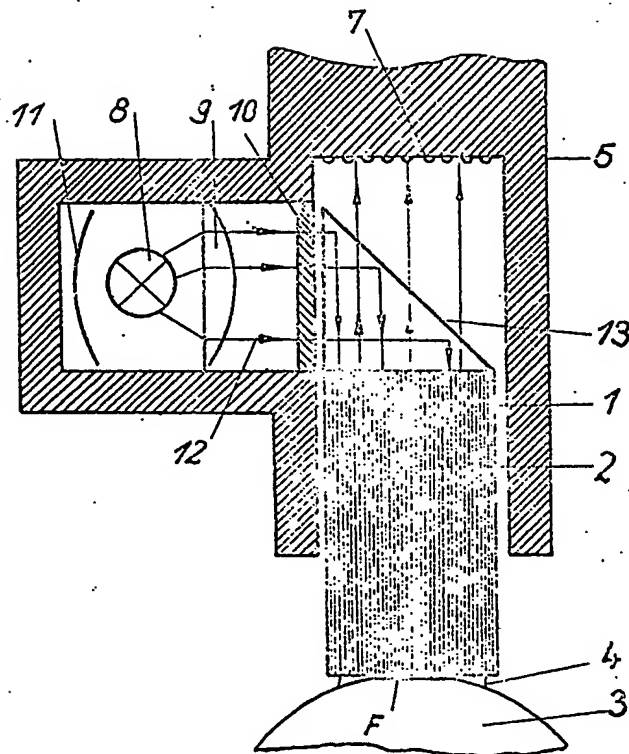


Fig. 4

1206 84

3421701

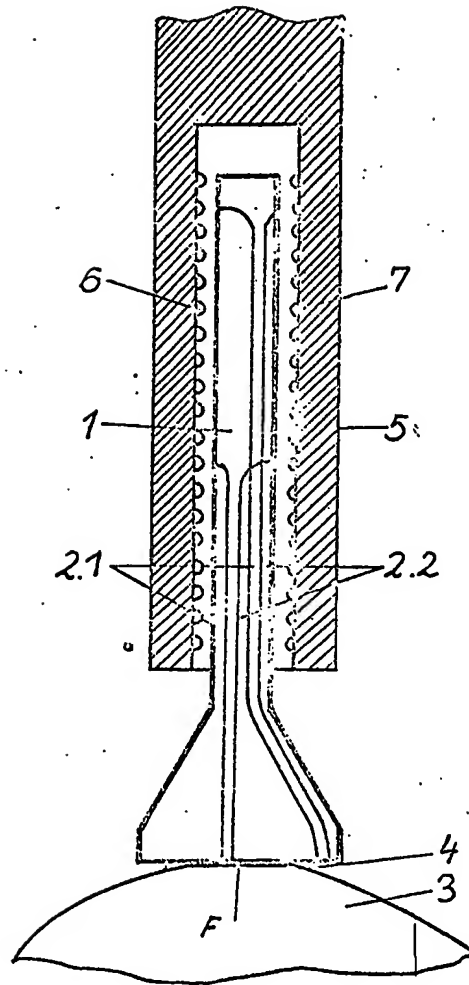


Fig. 5

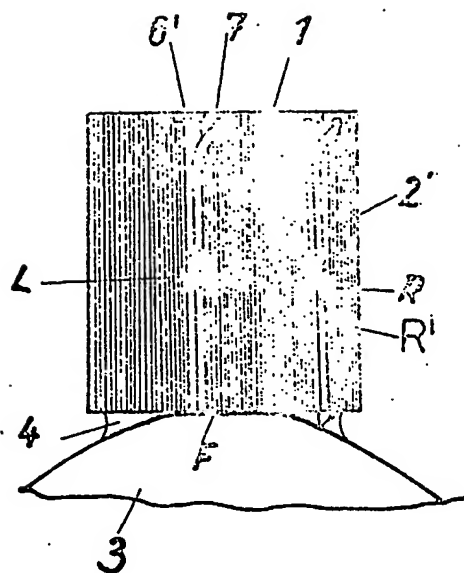


Fig. 6

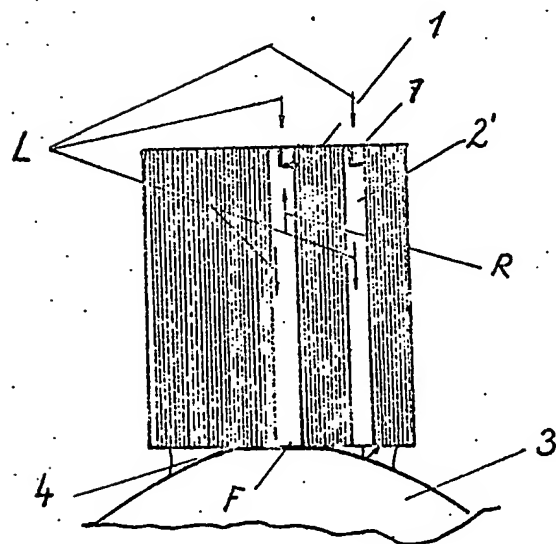


Fig. 7

3421701

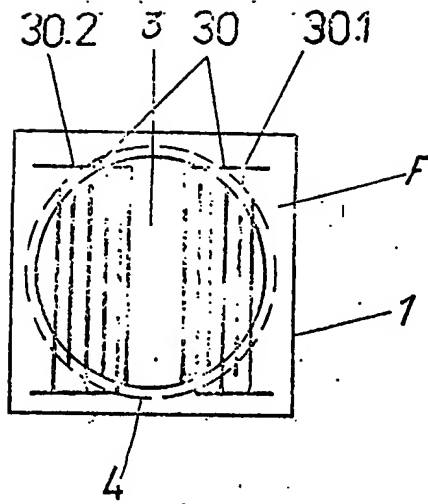


Fig. 8

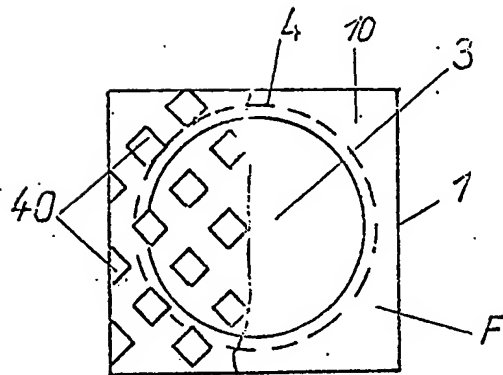


Fig. 11

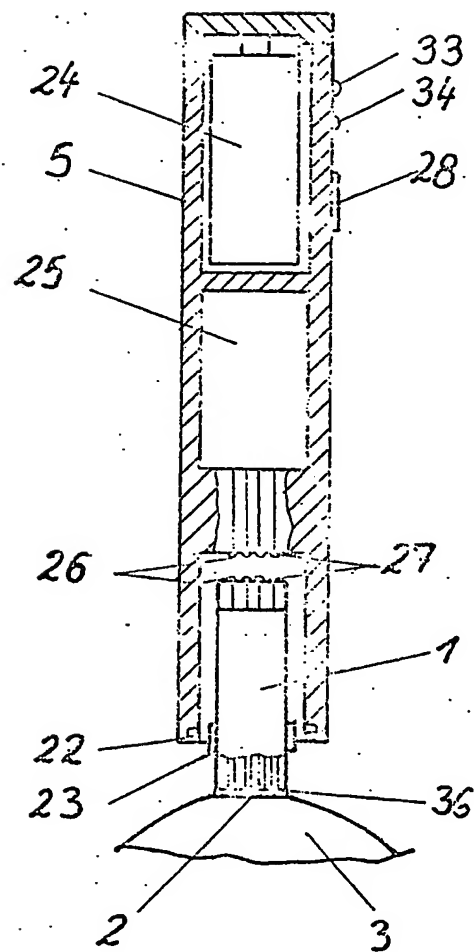


Fig. 3

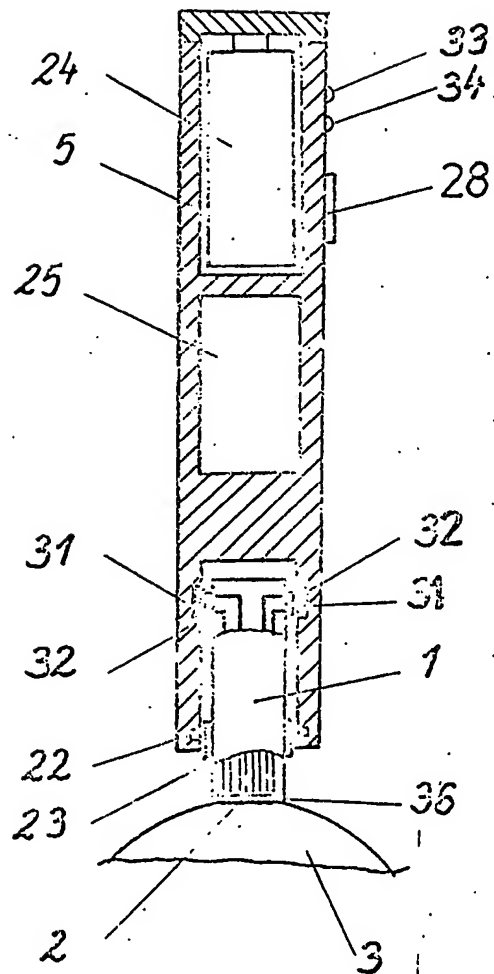


Fig 10

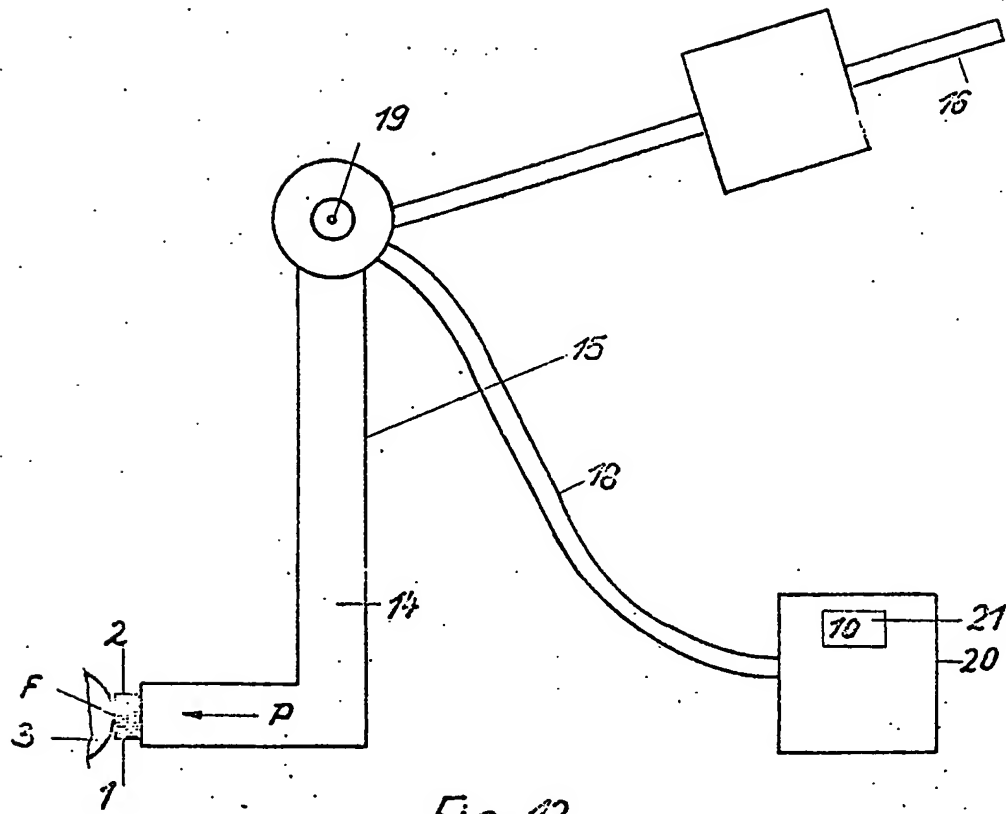


Fig. 12

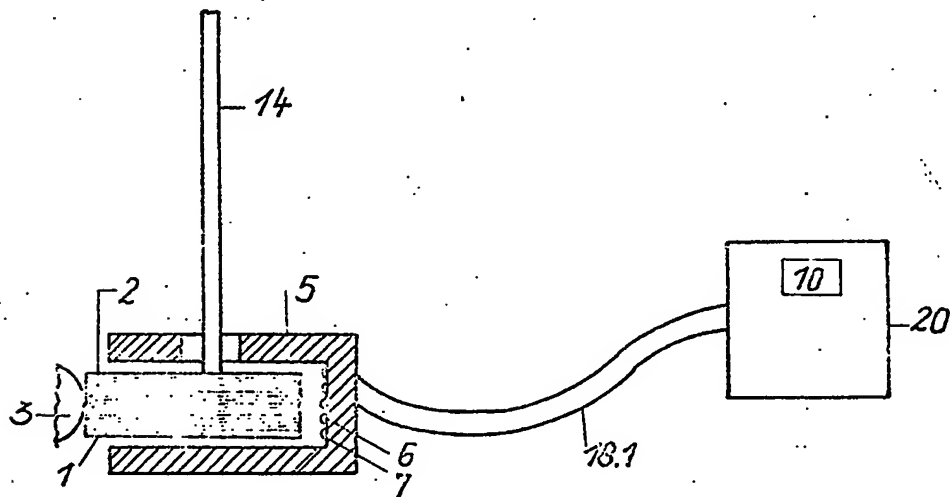


Fig. 13

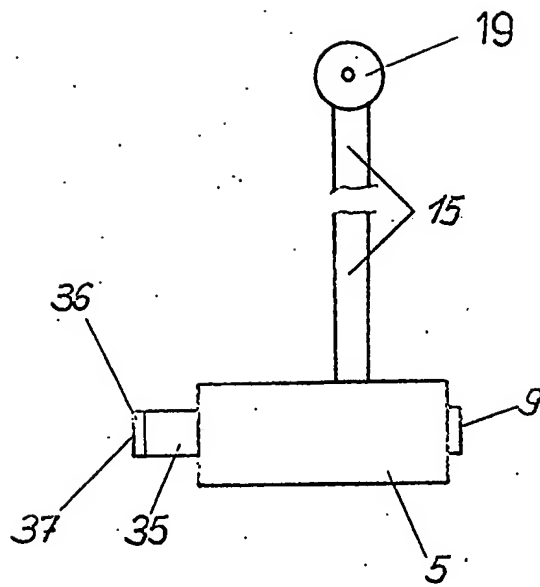


Fig. 14